NATURAL PHILOSOPHY

FOR BEGINNERS.

BEING FAMILIAR ILLUSTRATIONS

OF THE

LAWS OF MOTION AND MECHANICS,

Translated into Marathi,

BY

GOVIND GANGÁDHAR PHADKE.

SECOND EDITION.

BOMBAY:
PRINTED BY THOMAS GRAHAM.

1856.

यंत्रशास्त्राचीं मूळें.

या ग्रंथांत

चलन आणि यंत्रशास्त्र यांचे नियमांचें सविस्तर वर्णन केलें आहे.

याचें मराठी भाषांतर

गोविंद गंगाधर फडके यांणीं केलें.

दुसरी आवृत्ति.

मुंबईमध्यें

थामस ग्रेहाम याने छापिला.

सन १८५६.

अनुक्रमणिका.

अध्याय ४.

अध्याय ५.

अध्याय ६.

अध्याय ७.

अध्याय ८.

अध्याय ९.

यंत्रशास्त्र.

अध्याय १.

यंत्रशास्त्र हें दुसऱ्या सृष्टपदार्थशास्त्रांचा पाया अथवा आधार आहे असें मानितात; आणि या शास्त्रास चलनाचे नियम हा मूळभूत आधार आहे, ह्मणून त्या नियमांचें ज्ञान झाल्यावांचून, प्रवाही आणि अप्रवाही पदार्थांस चलन दिल्यानें जीं फळें होतात तीं समजणें, व जे परिणाम होतात त्यांची गणना करणें अशक्य आहे.

चलन आणि त्याचे नियम यांविषयीं.

पदार्थाचा एके स्थानापासून दुसऱ्या स्थानाकडे जाण्याचा अथवा स्थिरताविरुद्ध जो व्यापार त्यास चलन ह्मणतात.

पदार्थ स्थिर अवस्थेंतून स्वतः चलन पावण्यास समर्थ नाहीं; आणि चलनावस्थेंतून स्थिर होण्यासही समर्थ नाहीं. हा परिणाम पदार्थाचा ज्या धर्मामुळें घडतो त्या धर्मास **जडता** असें ह्मणतात. पृथ्वीवरील इतर पदार्थांच्या संबंधानें पाहिलें असतां भूगोलावरील कोणताही खडक आपलें स्थान सोडीत नाहीं; हें अनुभवावरून माहीत आहे. तो स्वतः चलन पावण्यास समर्थ नाहीं, ह्मणून जर त्यास औपाधिक प्रेरणेनें चलन प्राप्त न झालें, तर तो चिरकाल स्थिर राहील. आणि पदार्थास एक-

७०

शुभशकुन

असे म्हणून रुक्मिणीभोवती दाटी करणाऱ्या सख्यांना तिने स्वतःच्या हातांनी दूर लोटले इतक्यात एकाएकी रुक्मिणीच्या दैवरेखेने पूर्वसूचना द्यावी तसे आश्चर्य दिसू लागले. पक्षी एकाएकी बोलू लागले. तेव्हा त्यांच्या वाणीचा अर्थ जाणणारी भावकलना म्हणाली,

'ऐका. ऐका. या पक्ष्यांचे शब्द शुभशकुन सांगत आहेत. मी त्यांचा अर्थ सांगते. ऐका. हे पोपट म्हणत आहेत, 'रुक्मिणीची तिच्या प्राणनाथाशी भेट खात्रीने होणार आहे. आमचे हे शब्द खोटे ठरले तर आम्हाला खुशाल आयुष्यभर पिंजऱ्यात कोंडून घाला.' या साळुंक्या म्हणत आहेत, 'शिशुपाळाला नेमलेली ही बायको गोपीनाथ कृष्ण पळवून नेणार आहे. आमचे हे शब्द खोटे होतील तर आमचे पंख गळून पडतील व आम्ही लांड्या होऊ.' या कोकिळा पंचमस्वरात सांगत आहेत, 'आजपासून पाचव्या दिवशी कृष्ण इथे येणार आहे. त्या आधी मात्र त्याची हिच्याशी भेट होणार नाही.' हे भुंगे त्यांच्या गुंजारवातून सांगत आहेत, 'भीमकीच्या जीवाचा स्वामी इथे येणार आहे. आमचे हे म्हणणे खोटे ठरले तर आमच्या तोंडातील मकरंदाचा घास तुम्ही खुशाल काढून घ्या.' हे मोर षड्ज लावून मेघांची शपथ घेत आहेत. आणि सांगत आहेत, 'आजपासून सहाव्या दिवशी अंबिका देवीच्या कृपेने कृष्णाला रुक्मिणीचे कन्यादान घडणार आहे.' हे राजहंस शुभवचने बोलून म्हणत आहेत, 'शिशुपालाला जर कृष्णाने ठकविले नाही तर आमच्या मुखात पुन्हा कधीही कमलाचे भोजन न पडो.'

शकुनांची ही फळे सांगितली जात होती तेव्हा हरिण हरिणीला अंग घाशीत उभे होते. शिशुपालाच्या डोळ्यादेखत रुक्मिणीला हरण करून कृष्ण तिला प्रीतीने कुरवाळणार होता हेच ते हरिण सुचवीत होते. पाणी लाटांच्या सादाने सांगत होते, 'जर कृष्ण इथे आला नाही आणि रुक्मिणीला भेटला नाही, तर आमच्या मांडीवर यापुढे कधी कमळे फुलणार नाहीत; कधी हंस डुलणार नाहीत.' सुगंधाचे भविष्य घडविणारा दक्षिणवारा घो घो घोंघावत होता. कृष्णाच्या भयाने शिशुपाल पळून जाणार होता याचीच सूचना तो देत होता. पुढील घटनांची चाहूल आपण घेतली आहे, असेच तो सांगत होता. सुगंध थुईथुई ओसंडत सांगत होते की मदनाचा स्वामी जो कृष्ण तो लौकरच इथे वसतीला येणार आहे. मदनाचा सेनापती वसंत ऋतू वनदेवीच्या कानांत गुणगुणत होता की शंकराने विधवा केलेल्या रतीला पुन्हा तिच्या सौभाग्याचे वरदान देण्यासाठी श्रीकृष्ण लौकरच इथे येणार आहे. चंदनाची झाडे आपल्या पानांनी एकमेकांना स्पर्श करीत

डून सहज जातां यावें ह्मणून तो कांहीं अंतरावरून धांवायास आरंभ करितो. दोन घोडे स्थिर असतां जसा घोडेस्वार एका घोड्यावरून दुसऱ्या घोड्यावर सहज बसतो, त्याच प्रमाणें तो धांवत्ये घोड्यावर उभा राहून दुसरे जवळचे धांवणारे घोड्यावर सहज बसतो; कां कीं त्याचे खालचे घोड्याचा वेग त्याचे आंगीं आला असतो, आणि दुसऱ्या घोड्यावर बसेपर्यंत त्याचे आंगीं तो वेग तसाच असतो. जर दुसरा घोडा उभा असला तर तो मनुष्य घोड्याचे मानेवरून उडून जाईल; आणि स्थिर घोड्यावरून पळत्ये घोड्यावर चढूं लागला तर तो मागें पडेल. त्याच प्रमाणें एकादें गलबत फार चालत असलें, आणि जर त्याचे डोलकाठीचे टोंकावरून दगड सोडिला तर तो काठीबरोबर चालून तिचे बुडाशीं येऊन पडतो, मागें पडत नाहीं; कारण टाकणाराचे हातांत असतांना जो वेग त्या दगडांत आला असतो, त्याचा योगानें तो पडत पडत काठीचे बुंधाशीं येतो.

खालीं लिहिलेल्ये कृतीवरून जडतेचा धर्म उघड दाखवितां येतो. बोटाचे अग्रावर एक गंजीफ समतोल ठेवून तिजवर एक रुपया ठेव; नंतर गंजिफेस जोरानें टिचकी मार, ह्मणजे ती रुपयाखालून निघून जाईल; परंतु रुपया आपले जडतेमुळें बोटावर राहील. रुपयाची जडता गंजिफेचे घर्षणाहून अधिक आहे ह्मणून असें घडेल.

स्थिर पदार्थास जर प्रेरणा न केली तर तो कधींही चलन पावणार नाहीं, हें या वरचे उदाहरणावरून सहज कळेल; पदार्थ स्वतः चलन पावत नाहीं, ह्मणून स्थिरता

७०

शुभशकुन

असे म्हणून रुक्मिणीभोवती दाटी करणाऱ्या सख्यांना तिने स्वतःच्या हातांनी दूर लोटले इतक्यात एकाएकी रुक्मिणीच्या दैवरेखेने पूर्वसूचना द्यावी तसे आश्चर्य दिसू लागले. पक्षी एकाएकी बोलू लागले. तेव्हा त्यांच्या वाणीचा अर्थ जाणणारी भावकलना म्हणाली,

' ऐका. ऐका. या पक्ष्यांचे शब्द शुभशकुन सांगत आहेत. मी त्यांचा अर्थ सांगते. ऐका. हे पोपट म्हणत आहेत, ' रुक्मिणीची तिच्या प्राणनाथाशी भेट खात्रीने होणार आहे. आमचे हे शब्द खोटे ठरले तर आम्हाला खुशाल आयुष्यभर पिंजऱ्यात कोंडून घाला. ' या साळुंक्या म्हणत आहेत, ' शिशुपाळाला नेमलेली ही बायको गोपीनाथ कृष्ण पळवून नेणार आहे. आमचे हे शब्द खोटे होतील तर आमचे पंख गळून पडतील व आम्ही लांड्या होऊ. ' या कोकिळा पंचमस्वरात सांगत आहेत, ' आजपासून पाचव्या दिवशी कृष्ण इथे येणार आहे. त्या आधी मात्र त्याची हिच्याशी भेट होणार नाही. ' हे भुंगे त्यांच्या गुंजारवातून सांगत आहेत, ' भीमकीच्या जीवाचा स्वामी इथे येणार आहे. आमचे हे म्हणणे खोटे ठरले तर आमच्या तोंडातील मकरंदाचा घास तुम्ही खुशाल काढून घ्या. ' हे मोर षड्ज लावून मेघांची शपथ घेत आहेत. आणि सांगत आहेत, ' आजपासून सहाव्या दिवशी अंबिका देवीच्या कृपेने कृष्णाला रुक्मिणीचे कन्यादान घडणार आहे. ' हे राजहंस शुभवचने बोलून म्हणत आहेत, ' शिशुपालाला जर कृष्णाने ठकविले नाही तर आमच्या मुखात पुन्हा कधीही कमलाचे भोजन न पडो. '

शकुनांची ही फळे सांगितली जात होती तेव्हा हरिण हरिणीला अंग घाशीत उभे होते. शिशुपालाच्या डोळ्यादेखत रुक्मिणीला हरण करून कृष्ण तिला प्रीतीने कुरवाळणार होता हेच ते हरिण सुचवीत होते. पाणी लाटांच्या सादाने सांगत होते, ' जर कृष्ण इथे आला नाही आणि रुक्मिणीला भेटला नाही, तर आमच्या मांडीवर यापुढे कधी कमळे फुलणार नाहीत; कधी हंस डुलणार नाहीत. ' सुगंधाचे भविष्य घडविणारा दक्षिणवारा घो घो घोंघावत होता. कृष्णाच्या भयाने शिशुपाल पळून जाणार होता याचीच सूचना तो देत होता. पुढील घटनांची चाहूल आपण घेतली आहे, असेच तो सांगत होता. सुगंध थुईथुई ओसंडत सांगत होते की मदनाचा स्वामी जो कृष्ण तो लौकरच इथे वसतीला येणार आहे. मदनाचा सेनापती वसंत ऋतू वनदेवीच्या कानांत गुणगुणत होता की शंकराने विधवा केलेल्या रतीला पुन्हा तिच्या सौभाग्याचे वरदान देण्यासाठी श्रीकृष्ण लौकरच इथे येणार आहे. चंदनाची झाडे आपल्या पानांनी एकमेकांना स्पर्श करीत

मध्यार्शी समतोल होतील. अशा आंसावर तें चाक फिरविलें असतां त्याची गति गुरुत्वाकर्षणामुळें वाढणार नाहीं, अथवा कमीही होणार नाहीं. अशा चाकाचा गतीस प्रतिबंधक कारणें, एक त्याचे आंसाचें **घर्षण,** आणि दुसरें हवेचा प्रतिबंध, हीं दोन मात्र आहेत. जर कदाचित् तो आंस घर्षणचक्रांवर ठेवून घर्षण नाहींसें केलें, तर तें चाक जितका काळपर्यंत पहिले नुसते आंसावर फिरेल, त्याहून अधिक वेळपर्यंत अशा कृतीनें फिरेल. आणि जर हें सर्व वाताकर्षक यंत्राचे निर्वात पात्रांत ठेविलें, तर त्यास हवेचाही प्रतिबंध नाहींसा होईल; आणि तें चाक समानगतीनें फार वेळपर्यंत फिरेल.

या उदाहरणावरून असें नजरेस येतें कीं, एकाद्या पदार्थास प्रेरणेचे योगानें चलन देऊन त्या चलनास घर्षण, हवा, यांपासून अथवा दुसरे कित्येक कारणांपासून होणारे जे प्रतिबंध ते जसजसे नाहींसे करावे, तसतशी त्या चलनाची स्थिति आणि तिचा सारखेपणा हीं वाढत जातात. जे दाखले आपले नजरेस येतात त्यांजविषयीं अशीच गोष्ट असत्ये, ह्मणून असा सिद्धांत करितां येतो, कीं जर एकादा पदार्थ, घर्षण, इत्यादि कारणांचे प्रतिबंधक व्यापारापासून मुक्त अशा अवस्थेंत ठेवितां आला, तर त्याचें चलन अक्षय आणि सारखें होईल. ज्या कारणानें स्थिर पदार्थाचे आंगीं चलन उत्पन्न होतें, अथवा चलन पावलेल्या पदार्थाचें चलन बदलतें त्या कारणांस **प्रेरणा** ह्मणतात. ज्या रेषांत प्रेरणा पदार्थावर लागतात, त्या रेषांनीं अथवा अंकांनीं त्या प्रेरणा दाखविण्यास सुलभ

पडतें; प्रेरणेंचें परिमाण रेषेचे लांबीनें दाखवितां येतें. ज्या कारणावरून चलन पावलेल्या पदार्थाचें चलन कमी होतें, अथवा नाहींसें होतें, अथवा उलटें होतें, त्यास **प्रतिबंध** ह्मणतात.

ज्या रितीनें पदार्थावर प्रेरणा घडत्ये त्याप्रमाणें त्याचें चलन बदलतें. जेव्हां एकावरएक राहाणारे पदार्थ एककालीं चलन पावतात, तेव्हां त्या चलनास **साधारण** चलन ह्मणतात; जसें हंकारलेल्या गलबतावरील मनुष्यांस गलबताचें चलन असतें.—

स्थिर पदार्थाचा संबंधानें जें दुसऱ्या पदार्थाचें चलन त्यास **स्वतंत्र** चलन ह्मणतात; जसें मनुष्य एके जाग्यापासून दुसरे जागीं जातो; तारू पाण्यांतून जातें; हीं स्वतंत्र चलनाचीं उदाहरणें आहेत.

चलनयुक्त पदार्थाचा संबंधानें दुसऱ्या पदार्थाचा चलनास **संबंधी** चलन ह्मणतात. जसें गाडींत बसून जाणारा मनुष्य गाडीचे **संबंधानें** पाहिलें असतां स्थिर आहे; परंतु गाडी त्यास एका स्थानापासून दुसऱ्या स्थानीं नेत्ये ह्मणून त्याचें चलन स्वतंत्र होय; जरी गाडी चालती किंवा स्थिर असली तरी, तींतील दुसऱ्या मनुष्याचा संबंधानें त्याचे आंगीं संबंधी स्थिरता आहे. जेव्हां स्थलांतर झालें असा अर्थ विवक्षित आहे, तेव्हां ज्या चलनानें ती गोष्ट घडली त्यास **स्वतंत्र** चलन ह्मणावें. आणि जेव्हां आसपासचे पदार्थाचा स्थानाचे फेरफारानें एकादे पदार्थाचा स्थानाचा पालट दिसण्यांत येतो, तेव्हां तो ज्या चलनानें होतो त्यास **संबंधी** चलन ह्मणतात.

पदार्थाचे चलनाचे खरेचे परिमाणास **वेग** ह्मणतात. आणि जेव्हां पदार्थाचें चलन सम आहे, तेव्हां त्याचा वेगाचें परिमाण या रीतीनें काढावें; त्या पदार्थास कांहीं अंतरावर जाण्यास जो काळ लागेल त्याणें त्या अंतरास भागावें, भागाकार येईल तें वेगाचें परिमाण झालें. उदाहरण; जर एक पदार्थ तीन सेकंदांत तीस फुटी चालतो, तर त्याचा वेग दर सेकंदांत दहा फुटी आहे.

समकाळांत समान अंतरावरून जर पदार्थाचें चलन घडतें तर त्यास **सम** चलन ह्मणावें; जर तें चलन अधिकाधिक वाढत जात आहे, तर त्यास **वर्धमान** चलन ह्मणावें; आणि जर कमी होत गेलें तर, त्यास **क्षीयमाण** चलन ह्मणावें.

जा शक्तीनें एकादा चलनविशिष्ट पदार्थ दुसऱ्या पदार्थावर आपटतो तीस **वेगाघात** किंवा **चलनसंचय** ह्मणतात. आणि तो वेगाघात, पदार्थाचें प्रकृतिपरिमाण अथवा वजन, वेगानें गुणिलें इतक्याबरोबर असतो; ह्मणून दोन तोळे वजनाचे स्थिर गोळ्यास कांहीं वेग देण्यास जी प्रेरणा पाहिजे, तिजपेक्षां पांचपट प्रेरणा दहा तोळे वजनाचे गोळ्यास तितकाच वेग आणायास पाहिजे. जरी त्या दोन गोळ्यांचे वेग सारिखे आहेत, तरी लहान गोळ्यापेक्षां मोठा गोळा पांचपट अधिक शक्तीनें चालेल; परंतु जर लहान गोळ्याचा वेग पांचपट वाढविला, तर त्या दोघांचे **वेगाघात** अथवा **चलनसंचय** बरोबर होतील; ह्मणजे एकानें दहा गुणिले इतका वेगाघात लाहानाचा आहे,आणि दुसऱ्याचा, दोन गुणिले पांचांनीं इतक्याबरो-

वर आहे. ह्मणून कांहीं वेगानें जाणारे पदार्थाचें वजन वाढविल्यानें, अथवा वजन न वाढवितां त्याचा वेग वाढविल्यानें त्या पदार्थाचा **वेगाघात** अथवा **चलनसंचय** वाढवितां येईल, असा निश्चय होतो; यास उदाहरण, जर एक मनुष्य पन्नास शेरांचें वजन कांहीं वेगानें आपले पासून दहा हातांवर उडवितो, तर शंभर शेर वजन तितकेंच लांब उडवायास; अथवा मूळचें पन्नास शेर वजन कायम राखून दुप्पट लांब उडवायास पहिलेपेक्षां दुप्पट वेग दिला पाहिजे. परंतु जर तो पहिल्यापेक्षां अधिक प्रेरणा न देईल, तर शंभर शेरांचें वजन पांच हात मात्र लांब जाईल, त्या पक्षीं या दोन वजनांचा **वेगाघात** बरोबर होईल, कारण ५०×१०=१००×५. यावरून जर कोणत्याही परिमाणाचा दोन पदार्थांचे वेग त्यांचे प्रकृतिपरिमाणांशीं उलटे प्रमाणांत आहेत;—ह्मणजे, लहान पदार्थ मोठ्या पदार्थाहून जितका लहान आहे तितकाच जर त्याचा वेग मोठ्या पदार्थाचा वेगाहून अधिक असेल, तर मोठ्ये पदार्थाचे आंगीं जो वेगाघात येईल तितकाच लहानाचा आंगींही येईल. बंदुकीचे दारूची कल्पना निघाल्यापासून त्या दारूचा योगानें लहान पदार्थाचा आंगींही मोठा वेग देतां येऊं लागला, यामुळें तेव्हांपासून लोक, युद्धोपयोगी मेषमुखयंत्र उपयोगांत घेत नाहींसे झाले, कारण पांच हजार शेर वजनाचें हें यंत्र जें काम करितें, तेंच काम छत्तीस शेर वजनाचा गोळा त्याहून जितक्या वजनांत कमी आहे तितका वेग त्यास दिल्यास तो करितो.

अध्याय २.

सर्व चलनाचे तीन प्रकार करितां येतात; त्यांस **चलननियम** असें ह्मणोत.

प्रथम चलननियम.— पदार्थ जा स्थितींत असतो त्या स्थितीचा पालट प्रेरणारूप कारणानें न झाला, तर तो त्याच स्थितींत राहातो; ह्मणजे स्थिर पदार्थ स्थिरावस्थेंत राहातो, आणि चलन युक्त पदार्थ सरळ रेषेंत समचलनानें चालतो.

पदार्थाचा आंगचा जडतेचें जें मागें वर्णन केलें, तें **जडता** या नियमास आधार आहे, असें शिकणाराचा ध्यानांत सहज येईल. आतां प्रेरणेवांचून पदार्थास चलन प्राप्त होणार नाहीं इतकाच परिणाम केवळ जडतेचा नाहीं, तर पदार्थ एकवार चलन पावला असतां, त्यास कोणताही प्रतिबंध न झाल्यास तो चलनावस्थेंतच राहातो, हाही परिणाम जडतेचा आहे; ह्मणूनच पदार्थास एकवेळ चलन दिलें आणि जर हवा, गुरुत्वाकर्षण, आणि घर्षण इत्यादि प्रतिबंधक कारणांनीं त्याचे चलनाचा नाश न झाला तर, तो पदार्थ सरळ रेषेंत चालेल; जितकीं प्रतिबंधक कारणें कमी करावीं तितकें चलन अधिक वेळ टिकतें, याजकरितां वरचीं प्रतिबंधक कारणें अगदीं नाहींशीं केलीं, तर चलन कधींही बंद होणार नाहीं असा निश्चय होतो.

चलन पावलेला पदार्थ कारणावांचून आपला वेग

बदलीत नाहीं, अथवा आपला मार्ग बदलीत नाहीं ; ह्मणून मोकळें चलन **सरळ** आणि **सम** असें असतें. सरळ चलनाचा अर्थ बंदुकीची गोळी अथवा तीर सरळ वर किंवा खालीं मारिल्यानें उघड ध्यानांत येतो.

तीर आणि बंदुकीची गोळी, हीं सरळ रेषेंत जातात, तसा गोफणगुंडा गोफणींतून सुटल्यावर सरळ रेषेंत जातो. वर्त्तुळांत फिरणारा जो पदार्थ, त्यास त्याचे आंगचे **जड-तेच्या** विरुद्ध वर्त्तावें लागतें, ह्मणून त्याजवर दोन तरी प्रेरणा असाव्या. त्या पदार्थास वर्त्तुळांत किंवा वक्र रेषेंत राखणारी जी प्रेरणा तीस **मध्याकर्ष**प्रेरणा ह्मणतात ; आणि पदार्थाची **जडता**, पदार्थास पुढें अथवा सरळ रेषेंत जाण्याची शक्ती देत्ये, तीस **मध्योत्सारी** प्रेरणा ह्मणतात.

मध्योत्सारी प्रेरणा पदार्थास मध्यापासून दूर नेत्ये, आणि मध्याकर्ष प्रेरणेसहित जेव्हां वरची प्रेरणा पदार्थावर लागू होत्ये, तेव्हां पदार्थास वर्त्तुळ चलन प्राप्त होतें. चलनयुक्त पदार्थावर दुसरी प्रेरणा न झाल्यास तो सारखे गतीनें सरळ रेषेंत जातो, असा जो पहिला चलननियम त्यास अनुसरूनच वरची गोष्ट आहे.

वर्त्तुळ गमनाविषयीं दृष्टांतग्रह आहेत ; त्यांतील एक चंद्र घेतला, तर त्याचे आंगीं सरळ रेषेंत चालण्याचा वेग आहे, आणि याजवर पृथ्वीचें आकर्षण आपणाकडे ओढण्याविषयीं निरंतर आहे, अशा दोन प्रेरणांनीं चंद्र वर्त्तुळांत फिरतो.

तोफेंतून निघालेला गोळा पृथ्वीचे आकर्षणामुळें वां-

कड्या रेषेनें पृथ्वीवर पडतो. जर पृथ्वीचें आकर्षण आणि हवेचा प्रतिबंध हीं दोन कारणें नसतीं तर तो सर्वकाळ सरळ रेषेंत जाता.

पाण्यानें भरलेलें पात्र गोफणींत ठेवून ती गोफण हळू हळू फिरविली असतां, त्या पात्रांतील पाणी न सांडतां गोफण त्वरेनेंही फिरवितां येईल. जेव्हां पात्राचें मुख जमीनीकडे येतें तेव्हांही आंतील पाणीं खालीं पडत नाहीं; कारण कीं पाणीं आपले आंगचे जडतेनें अथवा मध्योत्सारी प्रेरणेनें मध्यापासून दूर जाऊं लागतें आणि गुरुत्वामुळें पृथ्वीवर पडावें तें न पडतां पात्राचे बुडाकडे जातें. अर्धें घडलेलें मडकें चाकावर ठेवून फिरविलें असतां त्याचा वाजूचा मध्योत्सारी प्रेरणेनें तें रुंदावतें, यामुळें त्या मडक्यास कुंभार पाहिजे तो आकार देऊं शकतो.

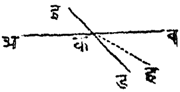
लहान वर्त्तुळांत घोडा मंडळावर धरणें आदिकरून कसब घोडेस्वार दाखवितो, तेव्हां मध्योत्सारी प्रेरणेनें त्या स्वाराचें गमन सरळ रेषेंत व्हावें, परंतु तें चुकविण्याकरितां तो घोड्याचा व आपला झोंक आंत घेतो. कोंपऱ्यावरून फिरत्ये समयीं गाड्या फार उलटतात, कारण गाडीचे आंगचे जडतेमुळें तिचा आंगीं सरळ जाण्याचा वेग असतो, परंतु घोडा तिचीं चाकें फिरवितो तेणेंकरून ती गाडी उलटत्ये.

वर्फावरून चालल्यानें चलनाचे नियम चमत्कारिक तऱ्हेनें अनुभवास येतात; मोठ्या वेगानें जाणारे मनुष्यास कोंपऱ्यावरून फिरतांना फारच आंत लवावें लागतें, या-

मुळें मोठया कुशळतेनें बर्फावर चालणाऱ्या मनुष्याला आपल्या आंगास अनेक तऱ्हेचे वांक द्यावे लागतात.

पदार्थ **जडतेमुळें** आपले चलनाची **दिशा** बदलण्यास समर्थ नाहीं. यावरून जर पदार्थास एकच प्रेरणा दिली आहे, आणि त्यास कांहीं प्रतिबंध न केला, तर तो प्रेरणेचे रेषेंत सरळ चालेल हें वर सांगितलें; त्या रेषेस **दिग्रेषा** ह्मणतात, तो पदार्थ दुसऱ्या जातीचा प्रेरणेवांचून आपली दिशा बदलणार नाहीं. एथपर्यंत पदार्थांवर एकाच रेषेंत प्रेरणा लागू होतात याविषयीं विचार झाला; परंतु अशी गोष्ट निरंतर घडत्ये असें नाहीं, कारण पहिल्या प्रेरणेचे दिशेशीं दुसरी दिलेली प्रेरणा कोन करित्ये हें या पुढील आकृतीवरून समजेल.

आकृति १.



मनांत आण कीं एक पदार्थ **अ क ब** रेषेंत चालतो, आणि तो **क** बिंदूशीं आला तेव्हां त्यास एक दुसरी प्रेरणा **इ ड** रेषेंत दिली, तर पदार्थाची चलनदिशा बदलेल, ह्मणजे ती अर्थात **इ ड** रेषेकडे होईल. आतां त्या पदार्थावर **इ ड** प्रेरणा लागू झाली ह्मणून **अ ब** रेषेंत चालत नाहीं, आणि **अ ब** प्रेरणा आहे ह्मणून **इ ड** रेषेंत चालत नाहीं; तर त्या दोन दिशा सोडून मध्येंच **क ह** या नवे दिशेस चालेल; पहिल्या प्रेरणेहून दुसरी प्रेरणा मोठी किंवा लहान असेल, त्या प्रमाणानें **क ह** रेघ **क ड** रेघेजवळ किंवा लांब होईल, हें पुढील अध्यायांत दाखविलें आहे.

अध्याय ३.

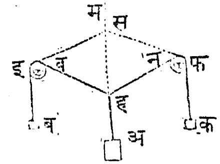
द्वितीय चलननियम.

चलनविशिष्ट पदार्थावर जेव्हां एकादी प्रेरणा घडत्ये, तेव्हां त्याचे चलनाचें फिरणें नव्या प्रेरणेचे दिशेस होतें, आणि तें त्या प्रेरणेशीं प्रमाणांत असतें.

एका पदार्थावर परस्परांशीं विरुद्ध नसतां निरनिराळ्या दिशेंत अशा दोन प्रेरणा घडल्या असतां, त्या पदार्थाचा चलनाची जी दिशा होत्ये ती आणि मिश्र चलन या दोन गोष्टी द्वितीय चलननियमांत येतात ह्मणून हा फार अगत्याचा आहे.

जर दोन सारिखीं वजनें, अथवा कोणत्येही जातीचा दोन सारिख्या प्रेरणा समोरासमोरचे दिशेंत एकादे पदार्थावर घडल्या, तर तो पदार्थ स्थिर राहील; यास दृष्टांत तराजूचा दोनही पारड्यांत एक एक शेराचें वजन घातलें असतां तीं पारडीं स्थिर ह्मणजे समतोल होतील; कारण समोरासमोरचा दिशांत समान प्रेरणा लागू होतात, यामुळें या उदाहरणांत तुलना घडत्ये; आणि अशा प्रेरणा लागू केल्यानें जी तुलना घडत्ये तिचा विचार करण्यांस ही गोष्ट प्रेरक आहे. जास **प्रेरणोपपादक समांतरबाजूचौकोन** ह्मणतात, त्याचा हा पुढील कृतिसहित दृष्टांत आहे, आणि या समांतरबाजूचौकोनाचा योगानें चलन उत्पन्न करणाऱ्या प्रेरणांतून एकएकीचें फळ काढितां येतें, तसेंच त्यांचा समुच्चयाचें फळही काढितां येतें, ह्मणून हा प्रेरणोपपादक समांतरबाजूचौकोन यंत्रशास्त्रांत फार अगत्याचें मूळ कारण आहे.

आकृति २.

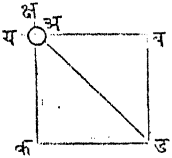


कप्पीचा चाकासारिखीं दोन लहान इ, फ, चाकें (आकृति २) एका उभ्या फळ्यास बसीव, आणि एका दोरीचा टोंकांस ब, क वजनें बांधून ती दोरी त्या चाकांवरून सोड. नंतर दोन चाकांमधले दोरीस कोठे तरीं ह पासून दुसरें एक अ वजन टांग, असें कीं तें त्या दोरीस खालीं ओढून इ ह फ कोन करील, आणि पहिल्या वजनांस तोलून धरील. त्यांचे या स्थितीवरून हें उघड आहे कीं, अ ह दिशेंत लागू होणारें अ वजन ह इ आणि ह फ दिशांत लागू होणाऱ्या ब आणि क वजनांस तोलून धरील. आणि या दोन प्रेरणा अ वजनाचे बरोबरीचे प्रेरणेचे बरोबर असाव्या आणि त्यांची दिशा ह पासून वर असावी. या वजनांतून प्रत्येकाचें फळ काढायासाठीं जा फळ्यावर तीं चाकें आहेत, त्यावर अ ह दोरीचा रेषेंत ह बिंदूपासून वरचे बाजूस ह म रेघ कर. आणि ह इ, ह फ दोऱ्यांखालींही फळ्यावर रेघा कर; नंतर ह म रेघेंत स बिंदू घे आणि अ वजनांत जितके तोळे असतील तितके इंच स ह रेघेंत आहेत असें मान. ह म रेघेंतील स बिंदूपासून स ब रेघ, अ फ रेघेशीं समांतर आणि स न रेघ ह इशीं समांतर काढ. नंतर ह्या झालेल्या समांतरबाजूचौकोनाचा ह ब, ह न बाजू मोजल्या तर, ब वजनांत जितके तोळे आहेत तितके इंच ह ब रेघ भरेल, आणि क वजनांत जितके तोळे आहेत तितके इंच ह न रेघ भरेल. या दृष्टांतांत

तोळे आणि **इंच** हे वजनाचे आणि लांबीचे भाग दाखविण्यास घेतले आहेत; परंतु प्रत्येकाचें वजन आणि लांबी दुसऱ्ये कांहीं जातीची घेतल्यास चिंता नाहीं, परंतु प्रत्येक पक्षीं सर्व **रेघांस** एकच जातीचें माप लावावें आणि सर्व **वजनांस** एकच जातीचें वजन असावें.

मागल्या दुसऱ्या आकृतींत प्रेरणोपपादक समांतरबाजूचौकोन **स ब**, **ब ह**, **ह न** आणि **न स** या रेघांनीं झाला आहे, आणि समोरासमोरचे दोन कोन सांधणाऱ्या **ह स** रेघेस **कर्णरेघ** ह्मणतात. समांतरबाजूचौकोनाचा **स ब** आणि **स न** बाजू, एकत्र लागू होणाऱ्या प्रेरणांचें परिमाण आणि दिशा दाखवितात, आणि **स ह** कर्ण त्यांशीं समान प्रेरणा दाखवितो;– परस्परांस प्रतिबंधक अशा प्रेरणांनीं तुलना होत्ये हें दाखवावें इतकाच या दृष्टांताचा हेतु आहे; आतां भिन्नभिन्न दिशेंत लाविलेल्या प्रेरणांनीं तुलना न होतां, चलन उत्पन्न होतें याचा विचार करितों. एका पदार्थावर दोन प्रेरणा निरनिराळ्या दिशेंत घडल्या असतां, त्यास त्या चलन देतात, याचें उदाहरण ही बाजूवरील आकृति आहे. एका **अ** पदार्थावर एक प्रेरणा केली अशी कीं ती त्यास कांहीं सांगितल्ये काळांत **ब** जवळ नेईल; आणि लागलीच त्यावर दुसरी प्रेरणा **अ क** दिशेंत केली जी त्यास वर सांगितल्ये काळांत **क** जवळ नेईल; असें झाल्यावर त्या

आकृति ३.



पदार्थावर केवळ एक शुद्ध प्रेरणा असावी तिचा ठिकाणीं

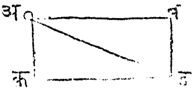
मिश्रप्रेरणा झाली, यामुळें तो पदार्थ कोणत्येही प्रेरणेच्या दिशेंत जाणार नाहीं; कां कीं तो पदार्थ **ब** अथवा **क** कडे जावा तो न जातां **अ ड** कर्णरेषेंत जाईल त्या कर्णाची लांबी आणि स्थान, **अ क ड ब** चौरस पुरा करून, **अ** कोनापासून त्याचा समोरचा कोनापर्यंत **अ ड** कर्णरेघ काढिल्यानें निघेल; या पक्षीं त्या गोळ्यास एकच प्रेरणा देऊन त्या चौरसाचा कोणत्याही एका बाजूवरून चालण्यास जो काळ पाहिजे तितकाच काळ त्यास **अ ड** कर्णावरून चालण्यास लागेल, जसें एक **क्ष** प्रेरणा ज्या काळांत **अ** गोळ्यास **क** जवळ नेईल, अथवा दुसरी **य** प्रेरणा **ब** जवळ नेईल त्याच काळांत तो गोळा **ड** जवळ जाऊन पोंचेल- जी प्रेरणा **अ क** रेघेंत घडत्ये, ती **ब ड** समांतर रेघेकडे त्या पदार्थाचें जाणें त्वरित किंवा हळू करित नाहीं हें उघड आहे; ह्मणून जर त्यास **अ क** दिशेंत चलन नसतां ज्या काळांत **ब** जवळ जातो त्याच काळांत तो **ड** जवळ जाईल. त्यासारिखेंच, **अ ब** दिशेंतली प्रेरणा पदार्थास **क ड** रेघेकडे किंवा तिजपासून दूर नेत नाहीं; यावरून हें निघतें कीं पदार्थ दोन प्रेरणांमुळें कोठें तरीं **क ड** आणि **ड ब** रेघांत असेल; ह्मणजे त्या रेघांचा छेदनबिंदू **ड** या स्थळीं असेल. एक तारूं पाठीवरचा वाऱ्यानें दक्षिणेस जात आहे, आणि तें भरतीनें अथवा पाण्याचा ओघानें पूर्वेस तितकेंच जलद लोटत आहे, तर तें प्रतिक्षणीं किंचित् दक्षिणेस आणि किंचित् पूर्वेस जाईल; ह्मणजे तें खचित् मधल्या आग्नेयी दिशेस जाईल. वारा आणि भरती अशा जातीच्या दोन प्रेरणा

पदार्थावर एकदांच किंवा एका मागून एक घडल्या, तथापि परिणाम सारखाच होतो; उदाहरण, जर एक तारूं वाऱ्यानें दक्षिणेस एक कोस गेलें, जसें **अ** पासून **क** पर्यंत (आकृति २) आणि नंतर लागलेंच भरतीनें एक कोस पूर्वेस गेलें, जसें **क** पासून **ड** पर्यंत, तर तें तारूं आग्नेयीकडे **अ ड** रेषेंत एकदांच लोटलें असतां ज्या **ड** स्थळाशीं पोंचेल त्याच ठिकाणीं वर सांगितलेली गोष्ट झाली असतां जाईल. ह्मणून दोन प्रेरणा आणि त्यांचा दिशा दाखविण्यासाठीं **अ क** आणि **अ ब** रेषा काढिल्या, आणि प्रत्येकीचा बरोबरीची रेघ दुसरीचा टोंकास जोडिली, जसें, **अ क** चा टोंकास **क ड**, अथवा **अ ब** चा टोंकास **ब ड**, तर चौरस किंवा समांतरबाजूचौकोन पुरा होईल. त्याचे मधल्या रेघेस कर्णरेघ असें ह्मणतात, ती त्या प्रेरणांचें परिणामरूप प्रेरणा आणि त्या प्रेरणांस अनुसरणारा जो पदार्थ त्याचा खरा मार्ग या दोन गोष्टी दाखवितें.–

एकटी **अ ड** प्रेरणा यंत्रशास्त्राप्रमाणें **अ क** आणि **अ ब** प्रेरणांचे बरोबर आहे, तीस **परिणामरूप प्रेरणा** असें ह्मणतात; आणि **अ क** आणि **अ ब** प्रेरणांस तिचा **कारणीभूत प्रेरणा** ह्मणतात; जेव्हां कारणीभूत प्रेरणांचे जागीं परिणामरूप प्रेरणा घेतात, तेव्हां त्या कृतीस **प्रेरणैकीकरण** ह्मणतात. ज्या प्रेरणांची एकादी प्रेरणा परिणामरूप आहे, त्या प्रेरणेचा बदल दोन अथवा अधिक प्रेरणांचीं योजना करितात, त्या कृतीस **प्रेरणापृथक्करण** असें ह्मणतात.–

जर त्या दोन प्रेरणा बरोबर आहेत असें न मानितां, जी प्रेरणा अ ला क कडे नेत्ये तीहून ब कडे नेणारी प्रेरणा दुप्पट अथवा तिप्पट मोठी असें कल्पिलें तर, अ ब रेघ अ क रेघेचे दुप्पट अथवा तिप्पट लांब असावी; आणि या पक्षीं कर्ण, चौरसाचा होणार नाहीं, परंतु बाजूवरील आकृतीप्रमाणें समांतरबाजूचौकोनाचा होईल. आणि याप्रमाणें पुढें कोणत्येही प्रमाणाचे प्रेरणेविषयींही दाखवितां येईल.—

आकृति ४.



मिश्र प्रेरणांचा व्यापार आणि त्यांपासून उत्पन्न झालेलें चलन, हीं दोन्ही एका लाहानशा यंत्रानें सुरेख दाखवितां येतात; त्या यंत्राची आकृति बाजूवर काढिली आहे. (आकृति ५) त्या यंत्रांत दोन लांकडाचा हलक्या चौकटा एकावर एक सरत अशा आहेत; आणि एका चौकटींत एक आडवी तार आहे, त्या तारेवर एक गोळा चालतो आणि त्या गोळ्यापासून एक दोरी दुसऱ्ये चौकटीकडे जात्ये, अशी कीं जेव्हां त्या चौकटी हलवाव्या, तेव्हां त्यांचें हालणें ही एक प्रेरणा होत्ये, आणि दोरीचें ओढणें ही दुसरी प्रेरणा, या प्रेरणा झाल्या असतां असें दिसेल कीं तो गोळा एका चौकटीचा खालून वरतीं अथवा वरून खालीं जातो, परंतु तो दुसरीचा कर्णावरून चालतो.—

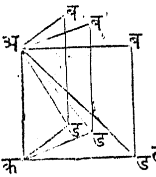
आकृति ५.



समांतरबाजूचौकोनाचा कर्ण कोणत्याही पक्षीं त्या चौकोनाचा जवळ जवळचा दोन बाजूंबरोबर होत नाहीं,

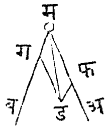
आणि जसा जसा त्या रेघांचा कोन वाढत जातो, त्याप्रमाणें कर्णाची लांबी कमी होत जात्ये, ह्मणून असें सिद्ध होतें कीं प्रेरणांचा पृथक्करणानें शक्तीचा तोटा होतो. जा कोनानें प्रेरणा पदार्थावर लागू होतात, तो कोन जसजसा मोठा होतो, तसतसा पृथक्करणानें शक्तीचा तोटा होतो, ही गोष्ट बाजूवरील आकृतीवरून लक्षांत येईल; (आकृति ६). जर **अ ब**, **अ क**, एका समांतरबाजूचौकोनाचा बाजू दोन प्रेरणांचा दिशा दाखवितात, आणि **अ ड** रेघ पदार्थाचा कर्ण दाखवित्ये, तर जसा जसा **ब अ क** कोन वाढत जातो, तशी **अ ड** रेघ कमी होत जात्ये हें स्पष्ट आहे.

आकृति ६.



एका **म** गोळ्यावर दोन प्रेरणा एकदांच घडतात, त्यांचा दिशा **म अ** आणि **म ब** आहेत असें मनांत आण, आणि जी प्रेरणा **म अ** रेघेंत त्या गोळ्यावर होत्ये तिचें **परिमाण म फ** रेघ दाखवित्ये आणि **म ब** रेघेंतल्या प्रेरणेचें परिमाण **म ग** रेघ दाखवित्ये; **ग** पासून **म फ** शीं आणि **फ** पासून **म ग** शीं समांतर अशा रेघा काढ, तर **म** पासून ड पर्यंत काढलेली रेघ कर्ण होईल, ह्मणजे ती परिणामरूप प्रेरणेची दिशा होईल.

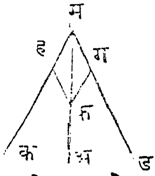
आकृति ७.



दोन प्रेरणांची एक परिणामरूप प्रेरणा कशी काढावी हें वरचे उदाहरणावरून स्पष्ट कळतें; आतां परिणामरूप अशी एक प्रेरणा घेऊन तिचें दोन प्रेरणांत पृथक्करण कसें करावें याचा विचार करितों. **म** गो-

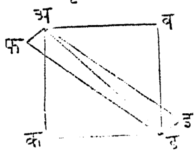
क्यावर एक प्रेरणा **म अ** दिशेंत लाविली आहे, आणि तिचें **परिमाण म फ** आहे; जा दिशांत तिचें पृथक्करण करावयाचें आहे त्या दिशा **म क** आणि **म ड** आहेत, तर **फ** पासून दोनही दिशांस समांतर रेघा काढ; ह्मणजे **म ग, म ह** ह्या रेघा इच्छिलेल्या दोन प्रेरणांचीं परिमाणें होतील; **म फ** त्या दोन प्रेरणांची परिमाणरूप ह्मणजे त्यांशीं समान प्रेरणा होईल.—

आकृति ८.



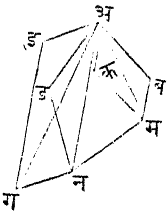
बाजूवरल्या आकृतींत (आकृति ९) **अ ड** रेघ **अ ब ड क** चौरसाचा आणि **अ इ ड फ** समांतरबाजूचौकोनाचा कर्ण आहे; यावरून असें दिसतें कीं समांतरबाजूचौकोनाचा अथवा चौरसाचा जवळच्या बाजूंनीं जा प्रेरणा दाखविल्या असतात त्यांचा योगानें एकादा पदार्थ एकाच कर्णावरून चालेल

आकृति ९.



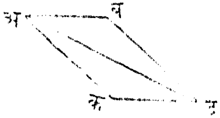
एका पदार्थावर घडणाऱ्या प्रेरणा, आणि त्यांचा दिशा कितीही असोत, तथापि त्या सर्वांची मिळून एक परिणामरूप प्रेरणा करितां येईल; उदाहरण. जर एका **अ** स्थळींचा पदार्थावर चार प्रेरणा एका काळींच घडतात जांचीं परिमाणें आणि दिशा **अ ब, अ क, अ ड, अ इ** रेघा दाखवितात; प्रथम **अ ब** आणि **अ क** रेघांशीं समांतर आणि बरोबर अशा **क म** आणि **ब म** रेघा काढ; असें केल्यानें **अ ब म क** समांतरबाजूचौकोन होतो;

आकृति १०.

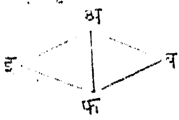


जर अ पासून म पर्यंत रेघ काढिली, तर तो कर्ण होईल, आणि जर त्या पदार्थावर नुसत्या दोन **अ ब, अ क** प्रेरणा घडल्या असतां ज्या दिशेंत तो जाईल, ती दिशा तो कर्ण होईल. यावरून तो पदार्थ एकल्या **अ म** प्रेरणेनें **अ म** दिशेंत, **अ ब** आणि **अ क** या दोहोंचे योगानें चलन पावतो असें दाखविलें; आतां त्या दोन प्रेरणांस एक **अ म** प्रेरणा असें मान, ती **अ म** प्रेरणा **अ ड** बरोबर घेतली असतां **अ म न ड** समांतरबाजूचौकोनाचा **अ न** कर्ण निघेल. **अ म** आणि **अ ड** प्रेरणा घडल्या असतां जसा तो **अ न** दिशेंत जातो, त्याच दिशेंत **अ ब, अ क** आणि **अ ड** प्रेरणा घडल्या असतांही जाईल. याप्रमाणें तीन प्रेरणा मिळून एक प्रेरणा झाली तिची दिशा **अ न** रेघ दाखविली; आतां तिशीं बाकी राहिलेली चवथी **अ इ** जोडून **अ न ग इ** समांतरबाजूचौकोनाचा **अ ग** कर्ण काढितां येईल, ज्याचा दिशेंत तो पदार्थ चार प्रेरणांचा योगानें चालेल. याचप्रमाणें पुष्कळ प्रेरणांची परिणामरूप प्रेरणा काढितां येईल.—

आकृति ११.



आकृति १२.



जर एक पदार्थ **अ** पासून **ब** कडे जात आहे, (आकृति ११) आणि त्याचा वेग एका मिनिटांत त्यास **अ ब** अंतरावर नेतो असा आहे, आणि जर त्यास दुसरी एक प्रेरणा **अ क** दिशेंत दिली जी त्यास एका मिनिटांत **अ**

पासून **क** पर्यंत नेल्ये, तर या नव्ये प्रेरणेपासून त्यास किती अधिक वेग प्राप्त होईल हें समजण्यासाठीं समांतरबाजूचौकोन पुरा करून **अ ड** कर्ण काढावा, आणि **अ ब** रेघेहून **अ ड** कर्ण जितका अधिक लांब होईल, तितका अधिक वेग होईल. त्याचप्रमाणें जर **अ क** प्रेरणेचा बदल **अ इ** प्रेरणा दिली (आकृति १२) तर तिची दिशा **अ ब** चा दिशेचे उलटी हें स्पष्ट आहे ह्मणून, ती त्या पदार्थाचा वेग अधिक न करितां उणा मात्र करील ; पूर्वीप्रमाणें **अ फ** कर्ण काढावा, आणि त्याहून **अ ब** बाजू जितकी लांब असेल तितका वेग या नव्ये प्रेरणेमुळें कमी होईल.—

या मुख्य कारणावरून ही पुढील आधाररूप रीति स्थापिली जाल्ये ; "जर एका पदार्थावर दोन चलन देणाऱ्या प्रेरणा एकाकाळीं घडल्या आणि त्यांतून एक एक त्या पदार्थास सांगितल्या काळांत समान चलनानें चौरसाचा अथवा समांतरबाजूचौकोनाचा बाजूवरून नेल्ये, तर तो पदार्थ त्याच काळांत, त्या चौरसाचा अथवा समांतरबाजूचौकोनाचा कर्णावरून समचलनानें चालेल."

जा प्रेरणा समांतरबाजूचौकोनाचा बाजूंवरून चलन उत्पन्न करितात त्यांस **शुद्ध प्रेरणा** ह्मणतात ; जी एकटी प्रेरणा कर्णरेघेंत चलन देत्ये, तीस **परिणामरूप प्रेरणा** ह्मणतात ; आणि कधीं कधीं तीस **बरोबरीची प्रेरणा** असेंही ह्मणतात.—

आणि जी प्रेरणा एका रेघेंत चलन उत्पन्न करित्ये ती दोन अथवा अधिक प्रेरणांपासून झाली आहे असेंही मनांत आणितां येईल. या गोष्टीचा प्रत्यय, पाण्याचा

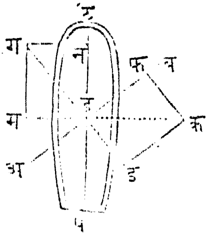
पाटांतून घोडे ओढून नेतात अशा होडीवरून होतो; प्रत्येक घोडा दोरीचा दिशेंत होडी आपल्याकडे ओढितो; परंतु होडी दोघांकडे जाऊं शकत नाहीं, ह्मणून तिचें खरें चलन या दोन प्रेरणांचे मिश्राचें फळ आहे.–

यासच **प्रेरणैकीकरण** ह्मणतात. ज्या दोन प्रेरणांचा दिशा आणि वेग घोड्यांचा शक्तींनीं दर्शविले आहेत, त्या प्रेरणा मिळून एक प्रेरणा झाली असें ह्मणतात, ती एक प्रेरणा या उदाहरणांत होडीचा चलनानें दाखविली आहे.–

पुष्कळ प्रेरणा एका काळीं घडल्या असतां, चलन उत्पन्न करितात याविषयीं उदाहरणें सृष्टींत असंख्य आहेत. वारा आणि भरती या दोन प्रेरणांनीं चालणारें तारूं, या विषयाचें एक उदाहरण आहे. जेव्हां वेगरहित नदींतून नाव एका तिरापासून दुसऱ्या तिराकडे नेतात तेव्हां ती तिराशीं लंबरूप रेघेंत जात्ये; जर वेग असला तर ती नाव नुसती सोडली असतां किनाऱ्याशीं समांतर रेघेंत लोटत जाईल; जर नावेवर दोन प्रेरणा एकदांच केल्या, ह्मणजे वल्हीं तीस किनाऱ्याशीं **लंबरूप** रेघेंत नेतात आणि नदीचा वेग तीस किनाऱ्याशीं **समांतर** रेघेंत लोटीत नेतो, तर ती नाव दोहोंतून कोणत्याही प्रेरणेस अनुसरणार नाहीं; परंतु ती प्रेरणैकीकरणानें जी दिशा होईल त्या दिशेंत जाईल. जर नावाड्याचा मनांत समोर नदीचा पलिकडल्या तिरीं नाव न्यावयाची आहे, तर तो नदीचा वेग लक्ष्यांत आणून समोर चालविणार नाहीं परंतु तिर्कस चालवील.–

ट प एक तारूं आहे (आकृति १३). आणि शिडाची स्थिति **अ ब** रेघेंत आहे, आणि वारा **क ड** दिशेंत वाहातो अशी कल्पना कर; वाऱ्याची शक्ति दाखविण्याकरितां जी **क ड** रेघ घेतली तिचें **ड इ** आणि **ड फ** रेघांत पृथक्करण होईल, **ड इ** शिडास लंब आणि **ड फ** शिडाचा दिशेंत; **ड फ** प्रेरणेचा शिडावर भार मात्र आहे, तिजपासून कांहीं उपयोग नाहीं, आणि **ड इ** प्रेरणा तारवास **ड ग** दिशेंत चालवील हें उघड आहे. **ड न** आणि **ड म** या दोन प्रेरणांत **ड ग** प्रेरणेचें पृथक्करण कर, त्यांतून पहिली तारवाचा कण्याचा दिशेंत लागू आहे, आणि दुसरी, कण्याशीं लंबरूप दिशेंत ह्मणजे तारवाचे रुंदीचा दिशेंत आहे; ह्मणून **ड न** प्रेरणा मात्र तारवास पुढें लोटत्ये आणि दुसरी **ड म** बाजूस नेत्ये; तारवाचा आकृतीवरून हें उघड दिसतें कीं कण्याचा दिशेंतला वेग, बाजूवरील **ड म** दिशेंतल्या वेगापेक्षां फार अधिक आहे. या बाजूच्या जाण्यास दमाग ह्मणतात.

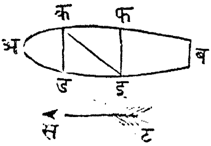
आकृति १३.



या वर्णनावरून हें उघड आहे कीं जो वारा गलबताचा मार्गास बहुतकरून आडवा आहे, तो वारा शिडाचा योगानें गलबतास पुढें चालवी असें करितां येईल.—

एक **अ ब** होडी **ट स** बाणाचा दिशेंत जात आहे, आणि **इ** आणि **फ** असे दोन पुरुष, तींत समोरासमोर बसले आहेत; जर **इ** पुरुष एक गोळा **फ** कडे फेंकितो, तर होडी चालत असली किंवा स्थिर असली तरीं, तो गोळा

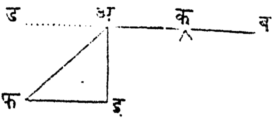
आकृति १४.



इ फ दिशेंत चालतो असा दिसेल; जर होडी स्थिर असेल तर तो गोळा निखालस त्याच दिशेंत जाईल, आणि जेव्हां ती चालती असेल, तेव्हां होडीचे पुढें चालण्यामुळें दुसरें चलन उत्पन्न होईल, तें त्या गोळ्यावर ड इ दिशेंत लागू होईल. जरीं तो गोळा इ फ दिशेंत जातो असें उडि-वणारास दिसतें तरीं मिश्र चलनामुळें त्या गोळ्याचें चलन इ क रेघेंत होतें, कां कीं जी प्रेरणा होडीस ओ-ढित्ये, ती त्या उडविणारास आणि गोळ्यासही आपल्ये बरोबर नेत्ये.–

एकसारख्या जाडीची ताठ अ ब दांडी क किला-वर समतोल ठेव, अशी कीं ती त्या किलाभोंवतीं सहज फिरेल, आणि अ टोंकास एक प्रेरणा लाव, जिची दिशा आणि परिमाण अ फ रेघ होईल; तर अ फ प्रेरणेचें दोन प्रेरणांत पृथक्करण करितां येईल, एक अ ब शीं लंब आणि दुसरी तिशीं समांतर; त्यांचा दिशा आणि परि-माणें अ इ आणि फ इ रेघा होतील. जापेक्षां अ ब रेघेंत अ ड लागू आहे, आणि क बिंदू सोडून अ ब चानें जाव-वत नाहीं, त्यापेक्षां अ ब काठीवर तिचा कांहीं व्यापार चालत नाहीं, ह्मणून अ फ चें फळ अ इचा फळाबरोबर होईल, आणि अ फ रेघ अ इ पेक्षां लांब आहे ह्मणून तिची शक्तिही अधिक होईल; यावरून हें सिद्ध झालें कीं,

आकृति १५.



लंबरूप प्रेरणेचें फळ, तिर्कस मोठ्या प्रेरणेचा फळावरोबर होईल. त्याचप्रमाणें प्रेरणेस तिर्कस लावल्यानें जी शक्ति नाहींशी होत्ये तिची गणना करितां येत्ये; मनांत आण कीं त्याच आकृतींत **अ फ** प्रेरणा लावली आहे, एथें वास्तविक जितकी प्रेरणा पाहिजे त्यापेक्षां मोठी प्रेरणा कामांत घेतली हें उघड आहे, आणि जर ती मोठी प्रेरणा लंबरूपानें लाविली असती तर तिचें फळ अधिक झालें असतें; जर निष्कारण लावलेल्ये प्रेरणेचें बरोबर प्रमाण पाहिजे तर त्या प्रेरणेचें दोन प्रेरणांत पृथक्करण करावें, ह्मणजे, तें **अ इ** आणि **इ फ** प्रेरणांत होईल, तर **इ फ** स जशी **अ फ** प्रेरणा, तसा तिर्कस लावल्यामुळें प्रेरणेचा निष्फळ अंश सर्व प्रेरणेस होईल.

जा मोठ्या घांटा एका मनुष्याचानें वाजविल्या जात नाहींत, त्या पुष्कळ मनुष्यें मिळून वाजवितात. घांटेचा मुख्य दोरास दुसरे कित्येक दोर बांधलेले असतात, आणि तो प्रत्येक दोर एकएक माणूस ओढितो. प्रेरणांचा एकीकरणानें आणि पृथक्करणानें या सर्व प्रेरणा एकत्र करून त्यांची एक प्रेरणा मुख्य दोरावर लागू करितां येईल.

यास दुसरें उदाहरण कागदाचा पतंग, याजवर वारा आणि दोरी या दोन प्रेरणा असतात. वहातें पाण्यांत माशांचें फिरणें, आणि पाण्यांत पोंहणें, तसेंच पक्ष्यांचें आकाशांत उडणें, हीं या विषयाचीं उदाहरणें आहेत.

चाबुकस्वार आपले खेळ सहज करून दाखवितात, त्यांस आधार मिश्र चलनाचा मूळ कारणाचा आहे.

घोडा भरधांव जात असतां त्यावर बसलेला स्वार जेव्हां वर उंच उडी मारितो, तेव्हां त्याचे शरिरांत उडी मारिल्यावर घोड्याचा वेग आला असतो, ह्मणून शरिरास पुढें झोंक देण्याचें कांहीं प्रयोजन पडत नाहीं; कां कीं तो झोंक त्याचे आंगीं घोड्याबरोबरचे साधारण चलनानें आला असतो; तो त्याचा आंगचा झोंक, आणि त्याचा शरिराचें ऊर्ध्व चलन या दोहोंचा संयोगानें त्याची उडी सिद्धीस जात्ये, ह्मणजे तो पुनः त्याच भरधांव चालणाऱ्या घोड्यावर येऊन बसतो. या प्रसंगीं त्याचें शरीर एका समांतरबाजूचौकोनाचा कर्णावरून चालतें, जा समांतरबाजूचौकोनाची एक बाजू घोड्याचा चलनाची दिशा आहे, आणि दुसरी बाजू मनुष्याचा उडीची दिशा आहे.

यंत्रशास्त्र शिकणाऱ्या विद्यार्थ्यानें, प्रेरणांचें एकीकरण आणि पृथक्करण यांचा मूळ कारणांशीं पुरतेपणीं माहित असावें हें अवश्यक आहे, कां कीं कोणत्याही दिशेंत अवांतर प्रेरणा लागू झालेल्या पदार्थाविषयींचीं कृत्यें उलगडणें यांवांचून होत नाहीं. जा शास्त्रांत तोफा मारण्याची विद्या सांगितली आहे, त्या शास्त्रास या कारणाचा आधार आहे; सर्व पदार्थ कोणत्याही प्रेरणेनें पृथ्वीचा सपाटीजवळ सरळ रेषेंत फेंकले असतां, त्यांजवर पृथ्वीचें आकर्षण निरंतर असतें, त्या योगानें त्यांचा सरळ चलनाची दिशा फिरून, ते वक्ररेषेनें पृथ्वीकडे येतात. याच मूळकारणाचा आधारानें **सर ऐसाक न्युटन** याणें आपल्या **प्रिन्सीपिया** या ग्रंथांत जगताचा खरे स्थितीविषयीं सिद्धांत केला आहे, आणि अंतरिक्षजडांचा

योजना, व त्या योजनांचा निरंतरपणा, आणि त्यांचे परस्परांवर आकर्षणादि व्यापार आणि परिणाम या सर्व गोष्टी जा नियमांनीं घडतात ते नियमही त्याणे शोधून काढले आहेत. मूळयंत्रांचीं लक्षणें आणि गुण यांची सिद्धता करण्यासही हें कारण उपयोगी आहे, त्या मूळ यंत्रांविषयीं पुढें लिहिलें आहे.

प्रेरणांचें एकीकरण आणि पृथक्करण यांविषयींचा मागल्या सर्व लेखांत, भिन्न भिन्न प्रेरणा एकाच पदार्थावर लागू होऊन त्याचा आंगीं **सम** चलन उत्पन्न करितात असें कल्पिलें, आणि अशा सर्व प्रसंगीं असें दाखविलें कीं त्यांपासून झालेला कर्णही सरळ रेघ होत्ये; आतां अशी कल्पना करितों कीं पदार्थावरील प्रेरणांतून एक प्रेरणा अशा रीतीनें लागू होत्ये कीं ती त्या पदार्थास अधिकाधिक त्वरेनें चालवित्ये, आणि त्या वेळीं पदार्थाची चलन रेषा वक्र होत्ये. जे सर्व पदार्थ सरळ दिशेंत तिर्कस फेंकले असून लागलीच जर त्यांवर (त्यांचें चलन वर्धमान करण्याचा जिचा स्वभाव आहे, अशी) गुरुत्वप्रेरणा लागू झाली तर ते पदार्थ वक्ररेषेंत चालतील. ह्मणून जेव्हां कोणत्याही जातीचा वक्ररेषेंत चलन पावणारा पदार्थ आपल्या दृष्टीस पडेल, तेव्हां असें अनुमान करितां येईल कीं, त्या पदार्थावर निदान दोन, तीन तरी प्रेरणा आहेत, त्यांतून एक त्यांस चलन देणारी, आणि दुसरी, जा सरळ मार्गानें तो पदार्थ चालणार त्यापासून दूर नेणारी आहे; आणि जा प्रेरणेनें पदार्थाचे सरळ चलनाचें वक्रचलन केलें त्या प्रेरणेचा व्यापार जेव्हां

बंद होतो, तेव्हां तो पदार्थ पुनः सरळ रेषेंत चालूं लागतो. तोफेंतून निघालेला गोळा, प्रथम चलननियमाप्रमाणें सरळ रेषेंत जाईल खरा, परंतु गुरुत्वप्रेरणेमुळें वक्ररेषेंत चालेल ; आणि "त्याचे गमनाचा फेर, या प्रेरणेशीं प्रमाणांत होईल." विद्यार्थ्यांस गुरुत्वनियमाची माहिति झाल्यावांचून प्रोजेक्‌टाईल, म्हणजे तोफा मारण्याची विद्या, तिचे नियम पुरतेपणीं समजणार नाहींत ; ते गुरुत्वनियम पुढें एका अध्यायांत वर्णिले आहेत.

तृतीयचलन नियम.

आघात, नेहमी प्रत्याघाताचा बरोबर आणि विरुद्ध असतो ; अथवा दोन पदार्थांचे परस्परांवरचे आघात समान असतात, आणि त्यांचा दिशा समोरासमोर असतात.

जेव्हां दोन चलनविशिष्ट पदार्थांतून एक दुसऱ्यावर आपटतो, अथवा एकाचा आंगीं चलन असून तो दुसऱ्या स्थिर पदार्थावर आपटतो, या दोहों पक्षींचा धक्का दोघांसही समान लागतो ; जसें जर एक मनुष्य धांवत धांवत दुसऱ्या स्थिर राहिलेल्या मनुष्याचा आंगावर जाऊन पडतो, तर प्रत्येकासही धक्का लागतो ; परंतु जर ते दोघे समान वेगानें आणि समोरासमोरून धांवत येऊन परस्परांवर आपटतात, तर पूर्वीपेक्षां धक्का दुप्पट होईल. जर त्यांतून एकाचें वजन दुसऱ्यापेक्षां फारच कमी असलें, तर त्यास या कारणामुळें भारी वजनाचे मनुष्यापेक्षां अधिक धक्का प्राप्त होणार नाहीं, परंतु त्यांतून

हलका मनुष्य जरी पडला आणि दुसरा पडेसा झाला तरीं प्रत्येकास जो धक्का लागतो तो समानच आहे. ८०० शें खंडींचीं दोन गलबतें, जेव्हां समुद्रांत एकमेकावर आपटतात, आणि त्यांचे वेग ह्मणजे चलनपरिमाणें सारिखींच आहेत, तेव्हां प्रत्येकास जो धक्का लागतो, तो धक्का त्या दोहोंतून एक स्थिर असून त्यावर दुसरें १,६०० शें खंडींचें गलबत त्याच वेगानें येऊन आपटल्यानें जो त्यास धक्का लागेल, त्याचे बरोबर होईल; अथवा जर एक २०० खंडींचें आहे आणि दुसरें ८०० शें खंडींचें आहे, तरींही धक्का समानच होईल, तथापि तो धक्का धाकल्याचानें सहन करवणार नाहीं.–

समान आकाराच्या आणि समान वजनाच्या दोन होड्या पाण्यावर स्थिर आहेत, आणि त्यांच्यामध्यें अंतर ४ फुटी आहे, आणि जर एका होडींतील मनुष्य दुसरीस दोरानें आपणाकडे ओढितो, तर त्या दोनही दोन दोन फुटी चालून एकत्र होतील; अथवा जेव्हां दोनही होड्या एकत्र असून तो मनुष्य दुसरीस आपल्या होडीपासून दूर लोटितो, तेव्हां त्या होड्या समान अंतरावर दूर जातील; पुनः जर त्यांतून एक होडी दुसरीच्या वजनाच्या दुप्पट आहे तर ती होडी दुसरीच्या निमे अंतरावर जाईल; यावरून जेव्हां पदार्थ परस्परांवर आपटतात असें दिसतें, तेव्हां **आघात** आणि **प्रत्याघात** समान घडतात आणि ते परस्परांस विरुद्ध असतात.–

वल्ह्यांनीं होडी चालविणें, पाण्यांत पोहणें, आणि उडणें या तीन व्यापारांत आघात आणि प्रत्याघात फार

आकृति १६.



उघड दिसून येतात; उदाहरण, ह होडींतील र मनुष्य (आकृति १६) जेव्हां वल्हें ओढितो, तेव्हां पाणी ब कडे जातें, आणि त्या पाण्याचा योगानें तितकीच होडी ड कडे जात्ये. पोंहणें ह्मणजे हात आणि पाय यांस वल्ह्यांसारिखें कामांत आणणें आहे, आणि पोंहतांना आपण जितकें पाणी मागें सारितों, तितकें तें पाणी आपल्या शरीरास पुढें लोटितें. उडतांना जेव्हां पक्षी आपले पांख हवेवर मारितात, तेव्हां त्यांचा पसरलेल्या पांखांवर जो हवेचा प्रत्याघात होतो, तेणेंकरून ते पुढें जातात; यास उदाहरण, जर दहा शेरांचें वजन उचलील अशा प्रेरणेनें एक पक्षी आपल्या पांखांनीं हवा खालीं दाबितो, तर हवेचा प्रत्याघात त्या पक्ष्यास तितक्याच परिमाणाचा प्रेरणेनें वर उचलितो; परंतु जर पक्ष्याचें वजन एक शेर आहे तर हवेचा प्रत्याघात त्या पक्ष्यास नऊ शेर प्रमाणाचे प्रेरणेनें वर नेईल; ह्मणजे, जर एका दोरीचा एका शेवटास एक शेराचें वजन आणि दुसऱ्या शेवटास दहा शेरांचें, अशीं दोन वजनें बांधून ती दोरी कप्पीवरून सोडिली तर, दहा शेर वजनाचा खालीं जाण्यानें जितकें एक शेर वजन वर चढेल, तितका तो पक्षी वर उचलिला जाईल. जर पक्षी आपल्या शरीराचे वजनानें मात्र हवेवर आघात करील, तर तो हवेंत, कांहीं वेळपर्यंत स्थिर राहील; ही गोष्ट घारी, ससाणे, आणि दुसरे पांखरांस खाणारे पक्षी उडत असतां दिसून येत्ये.

जर बोटानें लांकूड दाबिलें, तर तें लांकूड बोटास

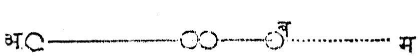
त्याचप्रमाणें दाविते. जर **अ** गोळा चालत असतां दुसऱ्या **ब** स्थिर गोळ्यावर जाऊन आपटतो, तर दुसऱ्या गोळ्यास जें चलन प्राप्त होतें, तें पहिल्यापासून घेतलें असतें यामुळें पहिल्याचा वेग त्याच्च प्रमाणानें कमी होतो. जेव्हां ही गोष्ट घडत्ये तेव्हां असें ह्मणतों कीं, **अ** पदार्थानें **ब** पदार्थास चलन दिलें ह्मणून **अ** चे चलनाचा कांहीं अंश नाहींसा झाला; यासच **अ** वर **ब** च्चा प्रत्याघात असें ह्मणतात. **ब** जितका **अ** ला प्रतिबंधक होतो, त्याच्च प्रमाणानें **अ** ची शक्ति कमी होत्ये, यावरून आतां असा निर्णय होतो कीं, **आघात** आणि **प्रत्याघात** हे परस्परांशीं समान आहेत; ह्मणजे, **अ** जितकी शक्ति **ब** ला देतो, तितकी त्याची शक्ति कमी होत्ये. चलन देण्यास काळ लागतो; हें पुष्कळ तऱ्हेच्या कृतींवरून दाखवितां येईल. त्यांतील एक अति सुलभ कृति ही आहे; मोठ्या व्यासाचा पात्रावर समान पातळींत एक गुळगुळित झांकण ठेवून त्यावर जड तांब्याचा तुकडा ठेवावा; आणि जर तें झांकण **एकाएकी** त्याचा पातळीची दिशा न बदलतां ओढिलें, तर तो तांब्याचा तुकडा पात्रांत पडेल; परंतु झांकणाबरोबर तुकडा हालला तर तसें घडणार नाहीं.

घोडा जें एकादें मोठें ओझें ओढित नेतो तें ओझें त्याच्च प्रमाणानें त्यास मागें ओढितें; कारण कीं ओझास बांधिलेला दोर दोहोंकडे सारिखाच्च ताणिला असतो.—

तराजूचा एका पारड्यांत चार शेरांचें वजन घालून दुसरें रिकामें पारडें दावण्यास चार शेरांचें बळ घातलें पाहिजे हें उघड आहे; परंतु जर एका पारड्यांत वीस

शेर आणि दुसऱ्यांत पंधरा शेर आहेत, तर त्या दुसऱ्यावर पांच शेरांचा भार घातल्यानें समतोलन होईल.—

अनियताकार पदार्थांचा आघात.—समान वेगाघाताचे दोन अनियताकार पदार्थ सन्मुख दिशेंत चालत असतां, एकमेकावर आपटले, तर ते परस्परांच्या पुढें जाण्याच्या चलनाचा नाश करितात; यामुळें ते दोन पदार्थ स्थिर होतात. त्यांचा आघात होत्ये समयीं जर त्यांचे **वेगाघात विषम** असले, तर आघाताचे पूर्वीं ज्याचा वेगाघात कमी, त्याचे चलनाचा नाश होतो इतकेंच केवळ नाहीं, परंतु मोठ्या वेगाघाताचे धक्यास अनुसरून त्यास आपलें चलनाची दिशाही बदलावी लागत्ये, असें झाल्यावर, जे त्या पदार्थांचे मुळचे वेग असतात त्यांच्या अंतराबरोबरच्या वेगानें ते दोन पदार्थ एकरूप होऊन चालतात असें कल्पितां येईल. आतां **अ** आणि **ब** हे दोन सारिखे पदार्थ (आकृति १७) परस्परांकडे येतात आणि **अ** चा



आकृति १७.

वेग ६ आणि **ब** चा वेग ४ आहे; तर आघातामुळें **ब** चा सर्व वेग नाहींसा होईल, परंतु **अ** चा ४ मात्र नाहींसा होईल, आणि बाकीचा २ वेग **अ** आणि **ब** यांमध्यें वांटला जाईल; ह्मणजे दोघांचा आंगांत १ वेग येईल, नंतर **ब** ची दिशा फिरून ते दोघे एकाच दिशेंत १ वेगानें **ब म** दिशेंत चालतील.

जर ते **अ** आणि **ब** समान वजनाचे पदार्थ एकाच दि-

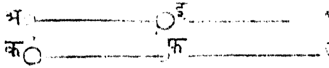
शेंत जात आहेत (आकृति १८) आणि अचा वेग ६ आणि बचा वेग ४ आहे, तर अ जाऊन बला धरील, आणि आघात होत्ये समयीं, त्या दोघांचे वेग समान होत इतका आपल्यांतून अ, त्यास वेग देईल; ह्मणून दोन्ही पदार्थ एकाच दिशेंत ५ वेगानें चालू होतील; अशानें अ चा, १ वेग नाहींसा होऊन बला १ वेग अधिक मिळेल.



आकृति १८.

“ विषम परिमाणाचे पदार्थ सम प्रेरणांनीं प्रेरिले असतां त्यांचा आंगीं जे वेग उत्पन्न होतात ते त्यांचा प्रकृति परिमाणांशीं उलट्या प्रमाणांत असतात; याचा अर्थ हाच कीं, जितकें, पदार्थाचें प्रकृति परिमाण अधिक असतें, तितका कमी वेग त्याचा आंगीं येतो. **सम** प्रेरणांनीं प्रेरित अशा **विषम परिमाणाचा** पदार्थांचे वेग जरीं विषम असतात, तरीं त्यांचे वेगाघात सम असतात; मागें लिहिल्याप्रमाणें, जा वेगानें एकादा पदार्थ चलन पावतो, तो वेग त्या पदार्थाचा वजनानें गुणिला असतां तो गुणाकार त्या पदार्थाचा वेगाघात होतो; यामुळें सम प्रेरणायुक्त विषम पदार्थ जरीं सम वेगानें चालत नाहींत, तथापि जा पदार्थावर त्यांचा आघात होईल, त्यास ते समान प्रेरणा देतील.–

आकृति १९.



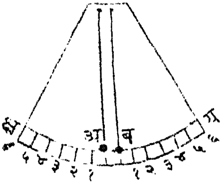
जसें, अ पदार्थाचें वजन एक तोळा आहे, (आकृति १९) आणि त्यास अ ब रेषेंत लोटिला आहे, आणि दुसऱ्या क पदा-

र्थाचें वजन चार तोळे आहे आणि त्यास क ड रेषेंत वरचा इतक्या प्रेरणेनें लोटिला आहे, तर यावरून उघड दिसतें कीं त्यांचे वेग विषम होतील, ह्मणजे अ चा वजनाहून क चें वजन जितकें अधिक आहे, तितका अ चा वेगाहून क चा वेग कमी होईल; क चें वजन अ चा वजनाचा चौपट आहे, यामुळें त्याचा वेग चौपट कमी होईल. यावरून सहज लक्षांत येईल कीं जर क पदार्थ फ स्थिर पदार्थावर आपटून जितका भार त्यावर घालील तितकाच भार अ पदार्थ इ वर आपटला असतांही घालील; याचें कारण हें आहे कीं, क चा आंगीं वेग नाहीं, परंतु त्याबदल त्याचा आंगीं अ हून अधिक वजन आहे, आणि अ चा आंगीं वजन नाहीं त्याबदल त्याचे आंगीं क पेक्षां अधिक वेग आहे.–

पदार्थांचे आपटण्यांत आघात आणि प्रत्याघात यांची समता दाखविण्याचें उदाहरण हें पुढें देतों.

मातीचे अथवा दुसऱ्या कांहीं अनियताकार पदार्थाचे

आकृति २०.



अ आणि ब सारख्या आकाराचे गोळे (आकृति २०) भाग केलेल्या क्ष य कमानीचा मध्याशीं पोंचत अशा समान लांबीचा दोऱ्यांनीं टांगिले आहेत असें मनांत आण. जर ते निराळे केले, ह्मणजे अ एका बाजूवरचा ४ या अंकाजवळ नेला, आणि दुसऱ्या बाजूचा ४ अंकाजवळ ब नेऊन एका काळींच जर ते दोन्ही सोडून दिले, तर ते एकमेकावर समान वेगानें

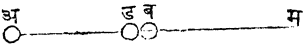
आपटतील, आणि परस्परांची शक्ति नाहींशी करून, आघात झाल्यावर ते स्थिर होतील. यावरून असें सिद्ध होतें कीं, जेव्हां समान आकाराचे पदार्थांचा आंगीं समान वेग असतात तेव्हां त्यांचा आंगीं समान शक्ति असत्ये, कां कीं जर असें नसेल, तर ज्याचा आंगीं अधिक शक्ति आहे त्याचा गमनदिशेंत, त्यांचा आघात झाल्यावर ते दोन गोळे एकत्र होऊन गमन करितील; ही गोष्ट या पुढल्या रितीनें सिद्ध करितां येत्ये. **अ** गोळ्याचें वजन **ब** चा वजनाचा दुप्पट आहे असें मनांत आण, आणि **अ** ला ३ या अंकाशीं नेला, आणि **ब** ला दुसऱ्या बाजूवरचा ६ या अंकाशीं नेला, आणि ते दोन्ही तेथून सोडिले असतां त्यांचे वेग ३ हींस ६ या प्रमाणानें होतील, आणि त्यांचे आकार २ हींस १ या प्रमाणानें आहेत. यामुळें त्यांचा आंगची शक्ति समान होईल; कां कीं **अ** चा आकार २ आहे आणि त्याचा वेग ३ आहे, या दोहोंचा गुणाकार ६ आहे, आणि **ब** चा आकार १ आणि त्याचा वेग ६ यांचाही गुणाकार ६ आहे.

पदार्थाचा वेग, आणि वजन या दोहों मिळून त्याचा **वेगाघात** होतो, ह्मणून हळू वेगानें जाणाऱ्या मोठ्या पदार्थाचें कृत्य, मोठ्या वेगानें जाणारा लहान पदार्थही करूं शकेल, हें मागल्या उदाहरणावरून उघड आहे. चरबीची मेणबत्ती तोफेंतून मारिली असतां मध्यम जाडीचा देवदारी फळ्यांतून पार जाईल; पुष्कळ भारांचें गलबत अगदीं हळू चालत येऊन धक्याशीं बांधलेल्या लहानशा होडीचा चूर करील. जर एका गोळ्याचें वजन अर्ध-

औंस आहे, आणि दुसऱ्याचें वजन, छत्तीस पौंड आहे, आणि मोठ्याचा वेगाचा ११५२ पट वेग धाकट्या गोळ्यास आहे, तर लहान गोळा तोफेंतून मारिला असतां मोठ्या गोळ्याचें काम करील; कां कीं ११५२ अर्धऔंस, ३६ पौंडांबरोबर आहेत, आणि लहान गोळ्यापेक्षां मोठ्याचें वजन जितकें अधिक आहे, तितकेपट त्याचे आंगीं अधिक वेग असावा हें स्पष्ट आहे.

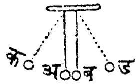
नियताकार पदार्थांचा आघात.—जेव्हां दोन केवळ नियताकार पदार्थ एकमेकावर आपटतात, तेव्हां एकाचा दुसऱ्यावर जो प्रत्याघात होतो, तो प्रत्येकास झालेल्ये नफ्याचे अथवा तोट्याचे बरोबर असतो; जसें, एक पदार्थ दुसऱ्यास ५ प्रमाणाचा धक्का देतो, तर त्यास दुसऱ्याचा नियताकारत्वामुळें ५ प्रमाणाचा धक्का उलट्या दिशेंत परत मिळतो. **अ** आणि **ब** असे दोन समान पदार्थ समोरासमोरचा दिशेंत चालतात, (आकृति २१) **अ** ५ वेगानें चालतो आणि **ब** ३ वेगानें चालतो, तर आघात झाल्यावर ३ वेगानें **अ** परत फिरेल. आणि ५ वेगानें **ब** परत फिरेल. याचें कारण **ब** चा वेग ३ आहे ह्मणून आघात होत्येसमयीं **ब** कडे जाण्याचा **अ** चा ३ वेग नाहींसा झाला; परंतु **ब** नियताकार पदार्थाचा प्रत्याघातामुळें त्यास सर्व ५ धक्का **अ ड** दिशेंत पुनः परत मिळतो, तेणेंकरून, आघातानंतर **अ** चा आंगीं २ वेग बाकी असतो त्यास तो धक्का केवळ नाहींसा करीत नाहीं, परंतु त्यास ३ वेगानें परत नेतो.

आकृति २१.



याचप्रमाणें असें दाखवितां येईल कीं, अ पासून ब ५ वेगानें परतेल; आतां जर ब स्थिर कल्पिला आणि अ त्याजवर ४ वेगानें आपटतो, असें कल्पिलें तर ब पदार्थ ब स्थळापासून म कडे अ चा मुळचा ४ वेगानें जाईल; आणि ब चा अंगीं कांहीं वेग नव्हता ह्मणून, अ ला कांहीं मिळणार नाहीं, यामुळें तो ड स्थळीं स्थिर राहील.

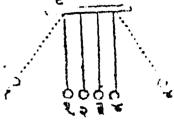
आकृति २२.



समवजनाचे अ आणि ब असे दोन हस्तिदंती गोळे २२ व्ये आकृतिप्रमाणें टांगून, अ गोळा एक बाजूस क जवळ नेऊन ब वर सोडून दिला, तर तो त्यास ड जवळ ह्मणजे, जा अंतरावरून अ पडला त्याचा बरोबरीचा अंतरावर धाडील; परंतु तो आपली चलनशक्ति दुसऱ्यास देऊन आपण अ स्थळीं स्थिर राहील.

जर समान लांबीचा दोऱ्यांनीं समान वजनाचे चार हस्तिदंताचे गोळे टांगिले (आकृति २३) आणि त्यांतून पहिला गोळा एकीकडे करून दुसऱ्या गोळ्यांवर आपटे असा सोडून दिला, तर दुसरा आणि तिसरा गोळा स्थिर राहील, आणि जा वेगानें पहिला गोळा दुसऱ्या गोळ्यावर आपटला, त्या वेगानें चवथा गोळा उडेल.

आकृति २३.



यापक्षीं पहिल्याचें चलन ह्मणजे चलनशक्ति मधल्या दोन गोळ्यांतून चवथ्यास प्राप्त होत्ये, त्या चवथ्यास कांहीं प्रतिबंध नव्हता ह्मणून त्यावर सर्व प्रेरणा घडत्ये. कितीही गोळे टांगिले तरीं याचप्रमाणें होईल.

अध्याय ४.

गुरुत्वाविषयीं.

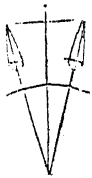
सर्व पदार्थ निराधार सोडिले असतां त्यांस पृथ्वीचा किंवा दुसऱ्या कांहीं पदार्थांचा आधार मिळेपर्यंत ते पडतात. हा चमत्कार पृथ्वीचा सपाटीवर, आणि तिजवरील सर्व अतिउच्च प्रदेशीं आणि अधःप्रदेशीं घडतो; ही गोष्ट मेघांपासून पाऊस आणि गारा यांचा पतनानें, आणि एकाद्या अतिशय ओंड खाड्यांत दगड टाकिल्यानें दृष्टीस पडत्ये. प्रकृति स्वभावतः जड ह्मणून ती स्वतः चलन पावण्यास समर्थ नाहीं, यामुळें पृथ्वीवर पतन पावण्यास तिचा आंगीं कांहीं शक्ति नाहीं; यावरून पदार्थांचे पतनास वास्तविक कारण कांहीं प्रेरणा असावी; त्या प्रेरणेस **गुरुत्व** ह्मणतात. यावरून पदार्थांचें पतन जा प्रेरणेनें घडतें ती गुरुत्व प्रेरणा आहे; गुरुत्व प्रेरणेपासून याशिवाय दुसरी कांहीं कार्यें होत नाहींत अशी जर कल्पना केली तर, या व्याख्यानापासून गुरुत्वाचा शक्तीचा केवळ अपूर्ण बोध होईल, कां कीं त्या प्रेरणेपासून पुष्कळ चमत्कार आणि पुष्कळ प्रकारचीं चलनें उत्पन्न होतात. यास दृष्टांत, नद्यांचें वाहणें आणि प्रवाही पदार्थांत हलक्या पदार्थांचें वर येणें हीं, जास आपण गुरुत्व ह्मणतों, त्याचींच फळें आहेत. धूर कधीं कधीं हवेंत फार उंच चढतो असें दिसतें, याचें कारण, जा पदार्थांतून त्याचें गमन होतें, त्याचेच प्रेरणेनें केवळ तो वर जातो, कां कीं आपल्या आकारपरि-

माणा इतके हवेचे अंश खालीं दावल्यावांचून किंवा दूर केल्यावांचून त्याचानें वर चढवत नाहीं.—

यावरून सर्व पदार्थ पृथ्वीवर पडतात; आणि **वजन** ह्मणून जें काय आहे त्याचें कारण तेंच आहे, यावरून वजन ह्मणजे पदार्थाचा पृथ्वीचा दिशेकडील भार; प्रत्येक पदार्थ दुसऱ्या पदार्थावर ठेविला असतां तो आपला भार त्यावर घालितो; जर हातावर दगड आहे, तर दगडाचा जो भार, हातावर आहे, त्यास दगडाचें **वजन** ह्मणतात; सर्व पदार्थ निराधार सोडले असतां पृथ्वीवर पडतात, ह्मणून ते सर्व पदार्थ वजनानें युक्त ह्मणजे भारी आहेत.

गुरुत्वाकर्षण सर्व पदार्थांस पृथ्वीचा **मध्याकडे** ओढितें, ह्मणून दोन पतन पावणारे पदार्थ परस्परांशीं समांतर दिशेंत पडणार नाहींत; कांकीं जा दोन रेघा एका बिंदूशीं मिळतात त्या समांतर होऊं शकत नाहींत; यामुळें जे सर्व पदार्थ गुरुत्वप्रेरणेचा स्वाधीन असतात, ते पदार्थ त्यांचा खालचा समपातळीवरल्या लंबापासून कांहींसे दूर पडतील. जर २४ व्ये आकृती-

आकृति २४.



प्रमाणें एक तराजू केली ती अशी कीं जा गोलाचा मध्याकडे तिचीं पारडीं आकर्षिलीं जातात, त्या गोलाशीं ती तराजू कोणत्याहि प्रमाणांत असेल, आणि जा ठिकाणापासून तीं पारडीं टांगलीं आहेत तेथून त्या गोलाचा मध्याकडे रेघा मारिल्या, तर तीं पारडीं लंबापासून किंचित् दूर जातील हें उघड आहे. परंतु जे पदार्थ अनुभव

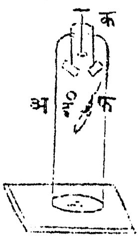
दाखविण्याकरितां घेतों, त्यांचे आकार पृथ्वीचा आकारा-बरोबर ताडून पाहिले असतां त्यांचा तिर्यक्पणा इंद्रिय-गोचर होत नाहीं.—

पतन पावणाऱ्या पदार्थांविषयीं.—एका स्थळापासून जड आणि हलके पदार्थ पडतांना पाहिले असतां, त्यांचे पतनाचे निरनिराळे वेग आपल्यास दिसतात; पहा बरें! शिसें फार त्वरेनें पडतें, आणि कागद फार सावकाश पडतो; ही गोष्ट त्या दोन पदार्थांचा भिन्न भिन्न वजना-मुळें होऊं शकणार नाहीं, कां कीं पदार्थांचा आंगा जसें वर चढण्याचें सामर्थ्य नाहीं, तसेंच त्यांचा आंगीं खालीं पडण्याचेंही सामर्थ्य नाहीं, ह्मणून पदार्थ कांहीं औपाधिक प्रेरणेवांचून पतन पावणार नाहींत, आणि ती प्रेरणा पदार्थांचा प्रकृतिपरिमाणाशीं प्रमाणानें असली पाहिजे; आणि जापेक्षां पदार्थांचा सर्व अवयवांवर गुरु-त्वप्रेरणा सारखीच असते, त्यापेक्षां कांहीं प्रतिबंधक का-रण नसेल तर त्या अवयवांचा भूमीवर पतन पावण्याचा काळांत कांहीं अंतर पडणार नाहीं, या कालांतरानें पत-नाचें कारण हवेचा प्रतिबंध आहे, आणि ती प्रतिबंध-कता शिशापेक्षां कागदावर अधिक आहे; असें असतांही जर कागद गुंडाळून गोळा केला, तर हवेचा व्यापारास थोडा प्रदेश मिळेल, ह्मणून त्यास हवेचा प्रतिबंध पूर्वी-पेक्षां थोडा होऊन, तो अधिक त्वरेनें पतन पावेल.

जर पतन पावणाऱ्या पदार्थांचा खऱ्या चलनाविषयीं निश्चय करणें आहे, तर वायु, पाणी इत्यादि प्रतिबंधक आणि गुरुत्वप्रेरणावरोधक पदार्थ नाहींत अशा स्थलांत

त्यांचें पतन पाहावें हें अवश्य आहे. जेव्हां पदार्थांस हवेचा प्रतिबंध नसतो तेव्हां रुपया आणि पीस यांचा कृतीवरून पदार्थांचें पतन चांगल्या तऱ्हेने दाखवितां येतें. अ एक कांचेचें पात्र आहे, (आकृति २५) त्याजवर वायूचा प्रवेश न होऊं देणारें असें एक पितळेचें झांकण आहे; एक तारेचा क तुकडा वारा न जाऊं देई असा त्या झांकणांतून जाऊन एका पातळ लहान तुकड्यास उचलून आडवा धरितो, जो तुकडा ती तार फिरविली असतां खालीं लोंबत राहतो; त्या पातळ तुकड्यावर इ एक रुपया आणि फ एक पीस हीं दोन ठेव; नंतर वाताकर्षक यंत्रानें त्या पात्रांतील वायु काढून टाक, आणि तो तुकडा पडे अशा रीतीनें ती तार फिरीव; असें केल्यानें त्या दोनही वस्तु पात्राचा बुडाशीं एकदांच येऊन पडतील. त्या पात्रांत थोडासा वायु घेतला असतां या कृतींत कांहींसा फेर होईल; ह्मणजे त्या दोन पदार्थांचे पतनांत कांहीं अंतर दिसून येईल; ह्मणजे रुपयापेक्षां पीस सावकास पडेल, जर अधिक वायु आंत येऊं दिल्हा तर पिसाचें पतन अधिक सावकाश होईल, आणि याप्रमाणें पुढेंही; जर वायूनें तें पात्र पूर्ण भरिलें तर पिसाचें पतन मोकळ्या हवेंतल्या पतनासारिखेंच होईल.

आकृति २५.



यावरून असें दिसतें कीं, जेव्हां गुरुत्वाचा व्यापार मोकळेपणानें घडतो, ह्मणजे प्रतिबंधावांचून घडतो, तेव्हां पदार्थांचीं वजनें कशींही असोत आणि त्यांचा प्रकृत्यंशांचा

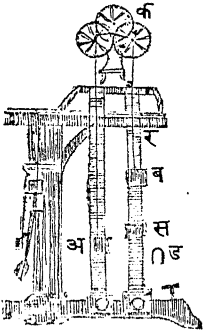
जाती कशाही असोत, तथापि सर्व पदार्थांवर गुरुत्वाचा व्यापार समान शक्तीनें घडतो. यावरून निर्वात स्थलांत सोन्याचा वर्ख अथवा कागदाचा तुकडा इत्यादि हलक्या पदार्थांपेक्षां शंभर शेर वजनाचा सोन्याचा गोळा असला तरी तो लवकर पडणार नाहीं.

वस्तुतः सर्व पदार्थ एकाच्च वेगानें पडतात असें वर दाखविलें, आतां सर्व जातीचा पदार्थांचें पतन जा साधारण वेगानें घडतें, तो वेग कसा आहे हें सांगतों. जर एक शिशाची गोळी उंच बुरूजावरून सोडून दिली, तर गुरुत्व प्रेरणेच्या योगानें तिचा आंगीं एकादां चलन उत्पन्न झालें असतां, त्याचा योगानें ती गोळी पडत राहील; आणि सोडून दिल्यावर जर तें पतनकारण दूर केलें, तरीहि ती गोळी पडत राहील; यास उदाहरण, जेव्हां ती गोळी अर्ध्या बुरूजापर्यंत येत्ये, त्या समयीं जर तिचें गुरुत्व नाहींसें करवेल, तर जा दिशेंत प्रथम तीस प्रेरणा घडली असत्ये, त्याच दिशेंत ती गोळी प्रथमचलननियमाप्रमाणें पडत राहील; जसें एकादा दगड जा दिशेंत उडविला असतो, तो दुसऱ्या कांहीं नव्ये प्रेरणेवांचून त्याच दिशेंत चालत असतो. गुरुत्वप्रेरणेचा व्यापार अगदीं नाहींसा होत नाहीं, यामुळें जसजशी ती गोळी प्रत्येक इंच पडत जात्ये तसतसें तिचा आंगीं अधिक चलन येतें. जर एक सेकंदांत ती गोळी सोळा फुटी आणि एक इंच इतक्ये स्थळांतून पडत्ये, तर तिला दुसऱ्या सेकंदांत पहिल्या अंतराचें तिप्पट स्थळांतून नेई इतका वेग तिचा आंगीं उत्पन्न होतो, तिसऱ्या सेकंदांत पांचपट,

चवथ्या सेकंदांत सातपट, पांचव्यांत नऊपट स्थळांतून नेई इतका वेग येतो. पदार्थांचा वर्धमान चलनाचें आणि जमीनीवर पडतेसमयीं वाढलेल्या वेगाघाताचें हें वर लिहिलेलें कारण आहे. अशा रीतीनें पदार्थास पडण्यास जो काळ लागतो त्याची गणना सहज करितां येते; कारण, जर तो पदार्थ आपल्या पतनकाळाचा पहिल्या सेकंदांत कांहीं स्थळांतून पडतो, तर तो पहिल्या दोन सेकंदांत त्या स्थळाचा चौपट स्थळांतून पडेल, पहिल्या तीन सेकंदांत नऊपट स्थळांतून, पहिल्या चार सेकंदांत सोळापट स्थळांतून पडेल, आणि या प्रमाणानें पुढेंही. यावरून जर कांहीं सांगितलेल्या सेकंदांत जा स्थळांतून पदार्थाचें पतन घडेल तें स्थळ काढणें असेल तर, पहिल्या सेकंदांत जा अवकाशांतून त्याचें पतन घडतें, त्यास पतनकाळांतील सेकंदांचा वर्गानें गुणावें, तो गुणाकार इच्छिलें स्थळपरिमाण होईल.

समवर्धमान चलन.- स्थिरपदार्थ गुरुत्वप्रेरणेनें जेव्हां खालीं पडतो, तेव्हां जोंपर्यंत त्याचें पतन अवरोधावांचून घडतें तोंपर्यंत त्याचा वेग वाढत जातो, असें वर दाखविलें. आतां जे पदार्थ मोकळेपणानें पडतात त्यांचें चलन इतकें त्वरित असतें कीं, तें पुरतेपणीं लक्षांत येत नाहीं; याजकरितां वर्धमान नियमांत कांहीं अंतर न पडतां पदार्थांचा वेग दृष्टीस येण्याजोगा कमी व्हावा अशी कांहीं युक्ति पाहिजे. तशा युक्ति अनेक आहेत, त्यांतील प्रथम,

आकृति २६.



एका गुळगुळीत उतरणीवरून पदार्थ जाऊं दिल्यानें तसें घडतें, त्या उतरणीचा उतार असा असावा कीं तिजवरून जातांना पदार्थाचा वेग पुरतेपणीं ध्यानांत यावा; अथवा **आत्वूड साहेबानें** योजिलेल्या यंत्रानें तसें घडतें. त्या यंत्रांत बाजूवरील २६ व्या आकृतीप्रमाणें एक उभा खांब आहे; **अ** आणि **ब** हीं दोन वजनें सारिख्याच आकाराचीं आणि समान वजनाचीं आहेत, आणि तीं एका बारीक रेशिमाचा दोरीचा शेवटांस बांधून ती दोरी **क** कप्पीवरून अथवा चाकावरून सोडिलेली आहे. या कप्पीचा आंस घर्षणचक्रांवर आहे, यामुळें दृष्टीस येण्याजोगें घर्षण अगदीं नसतें. **र** एक कडी आहे, जींतून **ब** वजन जातें, आणि **स** पट्टी आहे तिजवर तें वजन पडत असतां येऊन बसतें. ती कडी आणि पट्टी हीं दोन्हीं खालीं वर सरतात, यामुळें तीं मळसूत्रांचा योगानें हवीं तेथें बसवितां येतात. त्या उभ्या खांबावर भागप्रमाणें मांडिलीं आहेत; **ड** एक धातूची लवविलेली सळई आहे, तिची लांबी **र** कडीचा व्यासापेक्षां अधिक आहे. जेव्हां या यंत्राचा उपयोग करायाचा असतो, तेव्हां **ब** वजन खांबाचा टोंकाशीं नेतात, नंतर ती कडी आणि **स** पट्टी हीं दोन्हीं कांहीं इंच अंतरानें बसवितात; नंतर **ब** वजनावर **ड** सळई ठेवितात तेणेंकरून तें खालीं येऊं लागतें; जेव्हां तें वजन

र कडीपर्यंत येतें तेव्हां त्याजवरील लहान वजन ड त्या कडीवर राहतें, यामुळें अ आणि ब हीं वजनें परस्परांशीं समान होतात. यावरून हेंच लक्ष्यांत ठेविलें पाहिजे कीं, ब वजन र कडीजवळ येईपर्यंत त्याचे चलनास आणि खालीं पडण्यास केवळ ड वजनाचें गुरुत्व कारण आहे, आणि त्या कडीशीं आल्यावर गुरुत्वाचा व्यापार जरी बंद होतो, तरीं या काळांत जो वेग ब वजनाचा आंगीं आला असतो, त्याचा योगानें तें वजन पट्टीशीं येऊन पोंचतें, या यंत्राचा खरेपणाचें ज्ञान होण्यासाठीं अशी कल्पना केली पाहिजे कीं, पतन पावणारे पदार्थ लहान किंवा मोठे असोत, तथापि त्याचे वेग बरोबर असताहेत असें मानितात, आणि जेव्हां हवेचा प्रतिबंध गणित नाहींत तेव्हां ही वरची गोष्ट घडते असें मानितात. या कारणास्तव मोठ्ये ब वजनावर ठेविलेलें ड वजन इतर सर्व पतन पावणाऱ्या पदार्थांचें उदाहरण आहे. मोकळेपणानें पडणाऱ्या पदार्थांशीं मिळवून पाहिलें असतां ब वजनाचें हळू पडणें हें त्याचें चलन केवळ सूक्ष्मपणानें मोजण्यास साधक आहे; कारण पतन पावणाऱ्या पादार्थांचा **खऱ्या** वेगाचें अनुमान व्हावें हा या यंत्राचा उद्देश नाहीं, परंतु वेगाचे **वाढीचे** प्रमाणाचें अनुमान व्हावें इतका मात्र याचा उपयोग आहे. यावरून हें सहज लक्ष्यांत येईल कीं, **इतर पतन पावणाऱ्या पदार्थांचा पतन नियमांस अनुसरून** पदार्थांचें पतन कितीही हळू असो तथापि त्यापासून कांहीं अंतर पडत नाहीं; आणि पतन काळांचा पहिल्या सेकंदांत जितकें पदार्थांचें पतन घडतें,

त्या अंतरावरून सर्व अटकळी केल्या आहेत असें वर सांगितलें. तर यावरून असा निर्णय करितां येतो कीं, पहिल्या सेकंदांत पदार्थ किती खालीं येतो हें माहित असून पहिल्या सेकंदांतील पतनापेक्षां दुसऱ्या, तिसऱ्या, चवथ्या, अथवा पांचव्या सेकंदांत त्याचें पतन किती त्वरित होतें हें जर बरोबर कळेल, तर पुढल्या सर्व सेकंदांत जा स्थळांतून तो पदार्थ पडेल त्याचें अनुमान करितां येईल. तेव्हां जर ब वजन पहिल्या सेकंदांत कांहीं इंच पडतें, दुसऱ्या सेकंदांत दुसरे कांहीं इंच पडतें आणि याप्रमाणें पुढेंही होतें, असें घड्याळाचे सेकंद वाजविणाऱ्या आंदोलकाचा सहायानें कळून आलें, तर वाढलेल्या पतनाचें प्रमाण बरोबर काढितां येईल, आणि तें प्रमाण दुसऱ्या पदार्थांचा पतनास सहज लावितां येईल; इतकाच या यंत्राचा उपयोग आहे. गुरुत्वप्रेरणेपासून पतन पावणाऱ्या पदार्थास किती वेग मिळतो, आणि प्राप्त झालेल्या वेगापासून किती वेग मिळतो हेंही या यंत्रानें समजतें; कां कीं गुरुत्वप्रेरणा पडणाऱ्या वजनास कडीजवळ येईपर्यंत मात्र चलन देते, त्यानंतर पूर्वींचा मिळालेल्या वेगानें त्यापुढें त्याचें चलन होतें.

या यंत्राचा सहायानें जा कृति करून पाहिल्या आहेत, त्यांजवरून असें स्थापिलें आहे कीं पतन पावणाऱ्या पदार्थाचा काळाचे बरोबर भाग केले, जर सेकंद केले, तर प्रत्येक निरनिराळ्या सेकंदांत जा स्थळांतून पदार्थाचें पतन घडेल तीं स्थळें १, ३, ५, ७, ९, इत्यादि विषम अंकांप्रमाणें होतील. हें स्पष्ट होण्यासाठीं मनांत आण

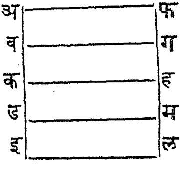
कीं एका पदार्थास पडण्यास १, २, ३ आणि ४ सेकंद काळ लागला, तर या सेकंदांत ह्मणजे काळांत जा स्थळांतून पतन घडलें तीं स्थळें त्या अंकांचा वर्गांबरोबर आहेत, ह्मणजे १, ४, ९, आणि १६ यांबरोबर आहेत; कारण १ हा एकाचा वर्ग आहे, ४ हा २ होंचा वर्ग आहे, ९ हा तिहींचा वर्ग आहे, आणि याप्रमाणें पुढेंही. आतां जर दुसऱ्या सेकंदांत किती स्थळांतून पतन घडलें तें काढायाचें असेल तर, एक सेकंदाचें १ स्थळ, दोन सेकंदाचा ४ स्थळांतून वजा करावें ह्मणजे बाकी ३ हें इच्छिलें अंतर होईल; तिसऱ्यांतील अंतर काढणें असल्यास, ९ यांतून ४ वजा करावे, ह्मणजे बाकी ५ हें अंतर होईल; चवथ्यांतील काढणें असल्यास, १६ यांतून ९ वजा करावे ह्मणजे बाकी ७ हें अंतर होईल; आणि याप्रमाणें पुढेंही. यावरून पहिल्या सेकंदांत पदार्थ कांहीं अंतरांतून फडतो, दुसऱ्या सेकंदांत त्याचा तिप्पट अंतरांतून पडतो; तिसऱ्या सेकंदांत त्याच अंतराचा पांचपट अंतरांतून पडतो; चवथ्या सेकंदांत, त्याच अंतराचा सातपट अंतरांतून पडतो; आणि याचप्रमाणें पुढेंही पडत जातो.

गुरुत्वाचा व्यापार सर्व पदार्थांवर सर्वकाळ घडतो, आणि तो व्यापार पदार्थ स्थिर अथवा चालत असतांही तसाच असतो, ही गोष्ट पतन पावणाऱ्या पदार्थांचा वेगांवरून स्पष्ट होत्ये, जे वेग पदार्थाचा सर्व पतनमार्गांत समान वाढत जातात. जर एकादी प्रेरणा पदार्थावर निरंतर आणि समतेनें घडत आहे, तर त्या पदार्थाचा

वेग समवर्धमान होत जाईल, हें पुढील विचारावरून स्पष्ट होईल.

मनांत आण कीं एक **अ** पदार्थ गुरुत्वप्रेरणेचा योगानें चालू आहे, तेव्हां त्याचा वेग १ आहे, तर पुनः त्यावर तीच प्रेरणा दुसऱ्यानें घडली असतां त्याचा आंगीं पहिल्या इतकाच वेग उत्पन्न होईल. यावरून तो पदार्थ २ वेगानें चालेल, आणि तिसऱ्या वेळीं ३ वेगानें जाईल, कारण कीं पूर्वींचे वेग नंतरचा प्रेरणांचा आघातांनीं कमी होत नाहींत; यावरून असा निर्णय होतो कीं, जर आघात बरोबर आहेत आणि ते समकालांतरानें होतात, तर पदार्थाचें चलन समवर्धमान होईल आणि त्याचा वेग काळांशीं प्रमाणांत होईल; ह्मणून जर एक पदार्थ कांहीं वेळपर्यंत समवेगानें चालत आहे, तर जा स्थळांतून त्याचें गमन होईल, तें स्थळ, त्याचा गमन काळ आणि त्याचा वेग यांशीं प्रमाणांत होईल. एका पदार्थाचा गमनकाळ दाखविण्यासाठीं बाजूवरील समांतरबाजूचौकोनाची एक बाजू घे. (आकृति २७.) आणि जा समवेगानें तो चालतो, तो **वेग** दाखविण्यास त्याची दुसरी बाजू घे, तर त्या काळांत जा स्थळांतून गमन घडतें, तें स्थळ तो सर्व समांतरबाजूचौकोन दाखवील.

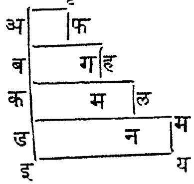
आकृति २७.



अ इ रेघ, **ब**, **क**, **ड**, इत्यादि समभागांत विभाग, आणि या बिंदूंपासून, **अ फ**, **ब ग**, **क ह**, इत्यादि **सारिख्या** रेघा मार, तर **अ ब**, **ब क**, **क ड**, इत्यादि

अनुक्रमें **काळाचे सम भाग** दाखवितील, आणि जा सम-वेगानें पदार्थाचें गमन होतें, तो **वेग अ फ, ब ग, क ह,** इत्यादि रेघा दाखवितील; यावरून त्या समकाळांशांत जा स्थळांतून गमन झालें, तीं **स्थळें अ ग, ब ह, क म,** इत्यादि समांतरबाजूचौकोन दाखवितील, आणि अइ रेघेनें दाखविल्या काळांत क्रमिलेलें **सर्व स्थळ, अ फ ल इ,** समांतरबाजूचौकोन दाखवील. पुनः कल्पना कर कीं, **अ ब, ब क, क ड,** इत्यादि रेघांनीं दाखविलेल्या सम-काळभागांत, एक पदार्थ समगतीनें चालत आहे, (आ-कृति २८) परंतु प्रत्येक काळभा-गाचे शेवटीं त्यास **अधिक** वेग प्राप्त होतो; उदाहरण, जा वे-ळांत तो **अ** पासून **ब** जवळ येतो त्या वेळांत तो **अ फ,** रेघेनें दर्श-विलेल्या वेगानें चालतो; जा वे-ळांत तो **ब** पासून **क** जवळ येतो तेव्हांचा वेग दाखवि-ण्यास **ब ह** रेघ घे. जर हे निरनिराळे समांतरबाजू-चौकोन पुरे केले तर, **अ ब काळांतील स्थळ, अ ग,** समांतरबाजूचौकोन दाखवील; **ब क काळांतील** सर्व स्थळ **ब म** समांतरबाजूचौकोन दाखवील, आणि याप्रमाणें पुढेही.—

आकृति २८.



विहिरी, खोल स्थळें इत्यादिकांची खोली काढण्याचा व्यवहारी कामास पतनाचे नियम लावले असतां, ते मोठे उपयोगी आहेत असें दाखवितां येईल. जर एकाद्या विहिरींत दगड सोडून देऊन त्यास तळीं पोंचण्यास कि-

ती वेळ लागतो हें पुरतेपणीं समजलें तर वर लिहिलेल्या कारणावरून त्या विहिरीची खोली काढितां येईल. मनांत आण कीं दगड विहिरीचा तळीं चार सेकंदांत पोंचला.

तर पहिल्या सेकंदांत तो १६ फुटी पडला असावा,
दुसऱ्या सेकंदांत त्याचे तिप्पट ह्मणजे ४८ फुटी,
तिसऱ्यांत पांचपट ह्मणजे ८० फुटी,
चवथ्यांत सातपट ह्मणजे ११२ फुटी,

यावरून विहिरीची सर्व खोली २५६ फुटी असावी.

ही पुढील रीती स्मरणांत ठेवण्यास फार सुलभ आहे, आणि तिचा योगानें हें वरचें उत्तर येईल; **जसे काळाचे वर्ग वाढत जातात, तशीं पतन पावणाऱ्या पदार्थांचीं पतन स्थळें वाढत जातात.** यावरून जापेक्षां दगडास विहिरीचा तळाशीं पोंचण्यास चार सेकंद लागतात, त्या सेकंदांचा वर्ग १६ आहे; आणि पहिल्या सेकंदांत १६ फुटींतून दगड पडला, त्या १६ नीं त्या वर्गास गुणिलें असतां उत्तर पूर्वप्रमाणेंच येईल, ह्मणजे १६×१६ =२५६ फुटी होतील.—

उभ्या कड्यापासून सुटलेला दगड, प्रथम हळू हळू पडूं लागतो, परंतु तो जसजसा खालीं जातो तसतसें त्याचें गमन वाढत्या वेगानें होतें आणि प्रतिक्षणीं त्याचा आंगीं अधिक वेग आणि वेगाघात हीं येतात, शेवटीं त्याचा आंगीं इतकी शक्ति येत्ये कीं, जें कांहीं त्यास प्रतिबंध करूं पहातें, त्यास तो आपल्या बरोबर घेऊन जातो.

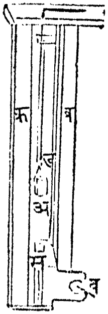
मध गुळाची राब इत्यादि घट्ट पदार्थ उंच ठिकाणावरून ओतले असतां, पतन पावणाऱ्या पदार्थाचा वेग वा-

ढण्याचें कारण दाखवितां येईल; जर पडण्याचें ठिकाण फार उंच असलें तर भांड्यांतून पडतांना जा धारेची जाडी सुमारें दोन इंच व्यासाची असत्ये, ती दुसऱ्ये भांड्यांत पडत्ये समयीं बारीक दोरीसारिखी होत्ये; परंतु जितका तिचा जाडेपणा कमी होतो तितका तिचा आंगीं वेग अधिक येतो, कां कीं जा पात्रांत ती ओतायाची असत्ये तें पात्र अति त्वरेनें भरतें. कोणी एक पुरुषानें खुर्चीवरून उडी मारिली तर त्यास कांहीं दुःख होत नाहीं, जर त्याणें उंच खिडकींतून उडी टाकिली तर कदाचित् त्याचें हाड मोडेल, आणि जर त्यापेक्षां एका उंच घराचा टोंकावरून उडी मारिली तर, जमीनीस पोंचल्याचे पूर्वी त्याचा आंगीं इतका वेग येईल कीं, पडल्यावर त्याचा शरिराचा चुरा होईल.

प्राचीन लोक युद्धोपयोगी मेषुखयंत्र कामांत आणीत असत, तें यंत्र शक्तिसंचय करण्याचें एक उदाहरण आहे, त्या यंत्रांत एका मोठ्या लांकडाचा टोंकास पितळ किंवा लोखंड बसवून, तें लांकूड मागें पुढें लोटतां येईल, अशा तऱ्हेनें उंच स्थानापासून टांगीत असत; नंतर पुष्कळ मनुष्यें लागून त्यास हलवीत, आणि जेव्हां त्याचा आंगीं थोडासा वेग येई तेव्हां, त्यास शहराचा भिंती किंवा तटबंदी यांवर सोडून देत, आणि या योगानें तीं पाडीत असत. पतन पावणाऱ्या पदार्थांचा वेग गुरुत्वाचा योगानें जसा उभ्या दिशेंत वाढतो, तसा मनुष्यांचा योगानें ह्या यंत्राचा वेग आडव्या दिशेंत वाढवित असत.

लांकडाचे सोंटे जमीनींत पुरण्याचें यंत्र, अधःप्रदेशीं अथवा उभ्या दिशेंत शक्तिसंचय करण्या विषयींचें उदाहरण आहे.

आकृति २९.

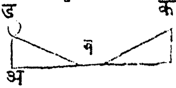


त्यांत एक कठिण लांकडाचा जड तुकडा असतो, तो (आकृति २९) **अ** आहे; त्यास मोगर असें ह्मणावें, **क** आणि **ब**, खांबांत तो खालीं वर सरतो. जेव्हां एकादा सोटा जमीनींत पुरावयाचा असतो, तेव्हां **व** चक्रास जो दोर गुंडाळिलेला असतो, त्याणें त्या मोगरास खांबांचा टोंकाजवळ नेतात, आणि कांहीं सोप्या युक्तीनें त्यास **ड** आंकड्यापासून सोडवितात, तेणेंकरून तो खालचा **स** सोट्यावर येऊन पडतो. मनांत आण कीं, मोगराचें वजन ५०० शेर आहे, आणि तो दर सेकंदांत ८ फुटीप्रमाणें पडतो, यामुळें प्रकृतिपरिमाण आणि वेग यांचा गुणाकार, ह्मणजे ५००×८=४००० या **वेगाघातानें** तो मोगर पडेल; आणि त्याचा पडण्याचें स्थान जसें उंच असेल तसा त्याचा आंगीं वेगाघात ह्मणजे सोट्यावर आपटण्याची शक्ति अधिक येईल.—

जड पदार्थ पडत असतां जसे त्यांचे वेग सारिखे वाढत जातात, तसे ते चढत असतां त्यांचे वेग सारखे **क्षीण** होत जातात. जसें बुरूजावरून दगड पडला असतां जमीनीस पोंचल्ये समयीं जितका वेग त्याचे आंगीं येतो तितका वेग त्या दगडास वर उडविल्ये समयीं दिला पा-

हिजे. ३० व्या आकृतींतील ड पदार्थास अ उतरणीवरून ब जवळ येण्यास जो काळ लागतो, त्या काळांत क स्थळाजवळ पोंचण्याचा वेग त्याचा आंगीं

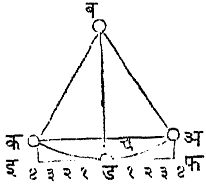
आकृति ३०.



येतो, ती क उतरणही त्याच उंचीची असावी; आणि त्या दोन्ही उतरणी फारच गुळगुळीत असल्या, आणि हवेचा कांहीं प्रतिबंध नसला, तर तो पदार्थ क पर्यंत निखालस चढेल. घडियाळाचा आंन्दोलक करण्यास आधार हेंच कारण आहे.—

आंन्दोलक ह्मणजे एक गोळा दोरीचा अथवा तारेचा टोंकास बांधलेला असतो; जर तो गोळा अ पासून पडूं दिला तर तो ड जवळ जाऊन पडेल. आणि पडल्यानें जो वेग त्याचा आंगीं येतो तेणेंकरून तो क जवळ जाईल. ह्मणजे अ जा उंचीवरून ड जवळ पडला, तितक्याच उंचीपर्यंत तो चढेल. या कृतीस **झोंकेखाणें** ह्मणतात; आणि जर एका आंदोलकास निर्वात

आकृति ३१.



आणि प्रतिबंधरहित स्थळांत चालू केला, आणि बंधन स्थानापाशीं अगदीं घर्षण नसलें, तर तो निरंतर झोंके खात राहील. आंदोलकाचा पडण्याचा प्रयत्नामुळें त्यास झोंके प्राप्त होतात; असें, त्याच आकृतींतील ब ड रेघ क्षितिजमर्यादरेघेशीं लंब असली आणि इ फ तिर्शी समांतर असली, तर तो गोळा ड पासून अ पर्यंत चढविल्यानें, वास्तविक अ फ लंबोंचीवर चढेल, आणि अ

पासून **फ** पर्यंत जा वेगानें पडेल, त्याच वेगानें तो **अ** पासून **ड** पर्यंत **अ म ड** वक्रकरणानें गमन करील. कौंसाची लांबी कांहीं नियमित मर्यादेबाहेर नसेल, तर कोणत्याही आंदोलकाचे झोंके हव्या त्या लांबीचा कौंसांतून घडले तरी ते समकाळांत होतील. हा आंदोलकाचा आंगीं मोठा विलक्षण गुण आहे; ह्मणून तो काळ गणण्यांत फार उपयोगी पडतो. हवेचा प्रतिबंधामुळें त्याचे झोंके क्षीण होत जातात, आणि जा प्रत्येक कौंसांत त्याचें गमन होतें त्यांची लांबी त्या पूर्वींचा कौंसापेक्षां कमी होत्ये. तथापि असें दिसून येतें कीं जरीं आंदोलकाचे झोंके हळू होत जातात, तरी ४ पासून ४ पर्यंत, ३ पासून ३ पर्यंत अशा तऱ्हेनें जोंपर्यंत त्याचें हालणें अगदीं बंद होई तोंपर्यंत, त्यास जाण्यास जो वेळ लागेल त्यांत कांहीं फेर पडणार नाहीं; कांहीं जातीचा वक्र रेषांत पदार्थ सारिखे झोंके खातात हें **गालिलीओ** याणें उघडकीस आणिलें. **पाइसा** शहरांतील एका देउळाचा तक्तपोशीपासून टांगलेल्या दिव्याचा हालण्याकडे त्याचें लक्ष गेलें. तेणेंकरून त्याचें मन या गोष्टीकडे लागलें; जा स्थळांतून तो दिवा झोंके खात असे तीं स्थळें मनांत न आणितां तो समकाळांत झोंके खातो असें त्याणें तेथें पाहिलें; यावरून त्याणें प्रत्यक्ष अनुभव घेतले तेणेंकरून काळाचा सारिखेपणाचा नियम स्थापिला गेला.

अध्याय ५.

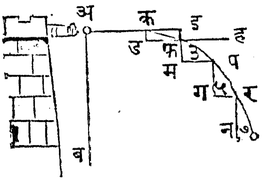
वक्ररेषाचलन.

पदार्थावर जेव्हां एक प्रेरणा घडत्ये, जेव्हां मिश्र प्रेरणा घडत्ये, आणि जेव्हां गुरुत्व प्रेरणाच एकटी घडत्ये, तेव्हां या प्रत्येकपक्षीं पदार्थास जें चलन प्राप्त होतें त्याचा विचार पूर्वींचा अध्यायांत झाला; त्यावरून आतां **वक्ररेषा चलनाचें** लक्षण समजून घेण्यास शिकणारा समर्थ होईल. वक्ररेषाचलन याच्च नावावरून स्पष्ट होतें कीं तें चलन सरळ रेघेंत अथवा कर्ण रेषेंत होत नाहीं, परंतु वक्र रेषेंत होतें; आणि पदार्थ चालत असतां त्यावर गुरुत्वप्रेरणा आडवी लागू होत्ये यामुळें, तसें चलन उत्पन्न होतें. जसें पिंपाचा भोंकांतून पाण्याची धार निघून जमीनीवर पडत्ये हें एक वक्र रेषेचें उदाहरण आहे; आणि जा वेगानें पाणि पिंपांतून बाहेर येतें त्याप्रमाणें वक्ररेषेचा आकार होतो.

तोफेंतून निघालेला गोळा अथवा दगड, गुरुत्वप्रेरणेनें खालीं ओढिला जातो हेंही एक वक्ररेषारूप चलनाचें उदाहरण आहे; कारण, त्यास पुढें फेंकणारी प्रेरणा लागू होऊन लागलीच नाहींशी होत्ये; परंतु खालीं लवविणाऱ्या प्रेरणेच्या व्यापार प्रतिक्षणीं घडत असतो, ह्मणून त्या व्यापारानें प्रतिक्षणीं वक्रता येत जात्ये, शेवटीं सर्व मिळून पदार्थाचा मार्ग वक्र होतो. जसें धोंडा उडविण्यांत अथवा तोफेंतून गोळा उडविण्यांत, हाताची अथवा दारूची शक्ति

हवेचा प्रतिबंधामुळें उत्तरोत्तर क्षीण होत जात्ये, आणि गुरुत्वाविषयींचा अध्यायांत सांगितल्याप्रमाणें जर पदार्थांचा अांगीं पडतांना वेग वाढत जातो तसा न वाढता, तर त्या गोळ्यावर अथवा दगडावर गुरुत्वप्रेरणा सारिखीच घडती; आणि यावरून असा सारांश निघतो कीं, सर्व पक्षीं या दोन प्रेरणा मिळून त्यांची एक प्रेरणा होत्ये, जिणेंकरून पदार्थांचा चलनमार्ग वक्र होतो.

आकृति ३२.



बाजूवरील आकृतींत **अ** एक गोळा नुकताच तोफेंतून निघालेला आहे, तर जा दिशेंत गुरुत्वप्रेरणा त्यास खालीं ओढित्ये ती दिशा **अ ब** रेघ दाखविल्ये, आणि त्यास दारू पुढें प्रेरित्ये ती दिशा **अ क** रेघ दाखविल्ये, अशा या दोन प्रेरणा परस्परांशीं विरुद्ध असून त्या गोळ्यावर घडतात; परंतु जर अशी कल्पना केली कीं **अ** पासून **क** पर्यंत गुरुत्वप्रेरणेपेक्षां दारूचा जोर अधिक आहे, आणि त्यामुळें गुरुत्वप्रेरणेचा व्यापार, त्या स्थळांत दिसून येत नाहीं, तर तो गोळा पुष्कळ लांबपर्यंत सरळरेषेंत जाईल. परंतु गुरुत्वप्रेरणा अचल आहे ह्मणून, अशी कल्पना करितां येईल कीं जेव्हां गोळा **क** जवळ येतो, तेव्हां गोळ्यावरील दारूची प्रेरणा इतकी कमी होत्ये कीं तिचानें त्या गोळ्यास खालीं येण्यास अडथळा करवत नाहीं; ह्मणून जर तो **क** पासून **इ** पर्यंत जातांना **क ड** स्थळांतून खालीं पडतो, तर

त्याचें गमन **क फ** कर्णरेषेंत होईल, आणि दुसऱ्या काळांत तो गोळा **क ड** स्थळाचा तिप्पट स्थळांतून पडेल, ह्मणजे **फ** पासून **म** जवळ पडेल, आणि दारूची प्रेरणा कमी होत असते ह्मणून त्याचें जाणें **ह** जवळ मात्र होईल, असें झाल्यावर तो गोळा **प** स्थळीं सांपडेल; नंतर दुसऱ्या तितक्याच काळांत तो पांचपट स्थळांतून पडेल, ह्मणजे **ग** शीं येऊन पोंचेल, आणि **र** पर्यंत पुढें लोटिला जाईल; पुढल्या काळांत त्याणें सातपट स्थळांतून पडावें, ह्मणून तो **न** स्थळीं जमीनीवर पडेल आणि स्थिर होईल; यावरून **क** पासून **न** पर्यंत त्याचा गमनमार्ग, कौंसाचा खंडांत घडतो; अथवा जोंपर्यंत दोन प्रेरणा त्यावर एक काळेंकरून घडत असतात तोंपर्यंत त्याचा मार्ग वक्र होतो.

वर सांगितलें कीं गुरुत्वाची शक्ति सर्वदां सारिखीच असते, ह्मणून जा वेगानें पदार्थ फेंकिला असतो त्याप्रमाणें वक्ररेषेचा आकार होतो; परंतु पुढें फेंकणारी प्रेरणा कितीही मोठी असली आणि चलन पावणारा तोफेचा गोळा इत्यादि पदार्थ जर आडवा फेंकिला तर तोफेचा उंचीपासून केवळ गुरुत्वानें पडण्यास जो काळ लागेल त्याच काळांत, तो गोळा भूमीवर पडेल; ही गोष्ट कदाचित् अशक्य अशी नजरेस येईल, परंतु पुढें उडविणारी प्रेरणा गुरुत्वप्रेरणेचा आड येत नाहीं असें मनांत आणिल्यानें ती गोष्ट सहज समजेल. क्षितिजरेषेंत एक सेकंदांत १००० फुटी या वेगानें जाई अशा प्रेरणेनें जर एक तोफेचा गोळा मारिला आणि दुसरा दर सेकंदांत १००

फुटी वेगानें जाई असा मारिला, तर जितकी गुरुत्वप्रेरणा यावर घडेल तितकीच पहिल्यावर घडेल; यावरून त्या दोहोंचें समान काळांत समान स्थळांतून पडणें घडेल. पुढें फेंकणारी प्रेरणा जशी असत्ये त्याप्रमाणें ते लांब किंवा जवळ पडतात; जर एकापेक्षां दुसऱ्यावर अधिक प्रेरणा घडली, तर ज्यावर अधिक प्रेरणा घडली असत्ये तो दुसऱ्यापेक्षां अधिक लांब जातो, परंतु ते दोन्ही एक काळींच जमीनीवर पडतात, ह्मणजे एक थोड्या स्थळांत हळू चालून पडतो आणि दुसरा पुष्कळ जागेतून लवकर चालून पडतो.

फेंकिलेल्या पदार्थाचा गमनानें जी वक्ररेषा उत्पन्न होत्ये तीस **पराबला** असें ह्मणतात; या सिद्धांतांत हवेचा प्रतिबंधाची गणना केली नाहीं, तथापि व्यवहारी अनुभवांत तो प्रतिबंध फार दृष्टीस येतो.

अध्याय ६.

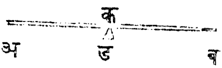
गुरुत्वमध्य.

गुरुत्वमध्य ह्मणजे पदार्थांत एक बिंदु असतो, ज्यामध्यें त्या पदार्थाचा गुरुत्वाचे सर्व शक्तीचा अथवा वजनाचा संचय असतो. ह्मणून त्या बिंदूस ज्या कांहीं वस्तूपासून आधार मिळतो, त्या वस्तूवर त्या पदार्थाचें सर्व वजन पडतें; आणि जोंपर्यंत या बिंदूस आधार असतो तोंपर्यंत तो पदार्थ तेथून खालीं पडत नाहीं, कारण त्य पदार्थाचा सर्व भागांचीं वजनें त्या बिंदूसभोंवतीं परस्परांस तोलून धरितात. जर एक काठी बोटावर आडवी तोलून धरायाची असेल तर, कांहीं वेळ अदमासून पाहिल्यानें एक स्थळ सांपडेल, त्यापासून कोणतेंही टोंक दुसऱ्यापेक्षां वजनानें अधिक व्हावयाचें नाहीं; ह्मणून जो काठीचा भाग बोटावर असतो तो गुरुत्वमध्याखालींच असतो.

जेव्हां गुरुत्वप्रेरणेनें मात्र पदार्थ पडतात, तेव्हां ते एका सरळ रेषेंत पडतात. ती रेषा पदार्थाचा गुरुत्वमध्यापासून पृथ्वीचा मध्यापर्यंत काढिली आहे अशी कल्पना करावी, या कारणावरून त्या रेषेस **दिग्रेषा** असें ह्मणतात.

एक शेवटापासून दुसऱ्या शेवटापर्यंत सारख्या जाडीची आणि घट्टाईची अशी एक सरळ लांकडाची अथवा धा-

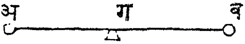
आकृति ३३.



तूची अ ब काठी (आकृति ३३) जर तराजूचा दांडीसारिखी ड सुईचा टोंकावर, क गुरुत्वमध्याखालून उचलून धरिली तर, तिचीं दोनही टोंकें परस्परांस तोलून धरितील, त्याशिवाय दुसरा आधार नसला तरीं ती काठी तशीच राहील; गुरुत्वनियम जो वर सांगितला त्यावरून ही गोष्ट घडत्ये, कां कीं प्रत्येक टोंकांत अथवा अ आणि क, आणि ब आणि क यांमध्यें प्रकृतिपरिमाण सारिखेंच आहे, यामुळें गुरुत्वप्रेरणा दोहों बाजूंवर सारिखीच घडत्ये, ह्मणून ती काठी समतोल होत्ये. हें अति स्पष्ट होण्यासाठीं मनांत आण कीं अ आणि ब (आकृति ३४) हे प्रकृतीचे दोन समान अवयव, अ ब सरळ काठीनें जोडिले आहेत, तर अ आणि ब यांचा मध्यभागींचा ग बिंदु त्या दोन पदार्थांचा गुरुत्वमध्य होईल; कारण कीं जर ग बिंदु उचलून धरिला, तर ते दोन पदार्थ त्या बिंदूभोंवतीं एकमेकांस तोलून धरितील. अ आणि ब यांचा वजना इतका भार ग स्थळीं पडेल, यावरून ते दोन पदार्थ अ आणि ब स्थळीं ठेविले अथवा त्यांचा वजनाचा दुसरा एक पदार्थ ग स्थळीं ठेविला तरीं भार सारिखाच होईल. ३५ व्या आकृतींतील अ ब, क इत्यादि पदार्थ अ न ताठ दांडीवर **समांतरानें** रचिले आहेत, तर त्यांजविषयींही वरचासारिखें ह्मटलें पाहिजे, ह्मणजे, अ आणि न हे स स्थळीं असतां जितका भार पडेल तितकाच भार अ आणि न स्थळांवर असतांनाही पडेल; ब आणि म हे स स्थळीं असतां जितका

भार पडेल तितकाच भार ते आपआपल्या स्थळीं असतांनाही पडेल; आणि याचप्रमाणें बाकीचाविषयींही घडेल; ह्मणून **अ+ब+क+** इत्यादि+**फ+ग+**इत्यादि **स** स्थळीं असून जो **एकंदर भार** होईल, तितका भार ते आपआपल्या स्थळीं असल्यावरही पडेल.

आकृति ३४.



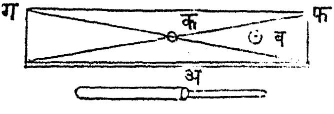
आकृति ३५.



अ, ब, क इत्यादि अवयव एकमेकास स्पर्श करितील इतकी त्यांची संख्या वाढवितां येईल; आणि ते सर्व अवयव एका गुरुत्वशून्यदांडिनें जोडिले आहेत अशी कल्पना केली, किंवा **स्नेहाकर्षकत्वानें** ते वास्तविक जोडले गेले आहेत अशी कल्पना केली, तरीं दोहोंपक्षीं परिणाम एकच होईल.

वरचे दोन उदाहरणांत जो गुरुत्वमध्य सांगितला तोच पदार्थांचा महत्वाचा अथवा आकाराचा मध्य आहे; परंतु जेव्हां पदार्थाचे सर्व भाग समान घट्टाईचे असतात तेव्हांच मात्र अशी गोष्ट घडत्ये; जसें (आकृति ३६) **ड** काठी सर्वत्र सारिख्या जातीची नाहीं

आकृति ३६.

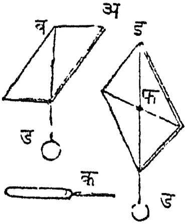


परंतु **फ** पासून **क** पर्यंत शिसें अथवा दुसरा कांहीं जड पदार्थ आहे. आणि **क** पासून **ग** पर्यंत लांकूड आहे.

अशा तऱ्हेची ती काठी आहे, तर **ग क** तुकड्यापेक्षां **क फ** तुकड्यांत अधिक प्रकृत्यंश आहेत, आणि जर **क** मध्यांतून **अ** खिळा घातला, तर **क फ** टोंक वजनानें अधिक होईल; परंतु जर तो खिळा **क** मध्यांतून काढून **ब** गुरुत्वमध्यांत घातला, तर दोनही टोंकें समान होतील; तथापि असें दिसण्यांत येईल कीं दांडीचा आकाराचा मध्य तिचा गुरुत्वमध्याशीं मिळत नाहीं.

अबड धोबड आकाराचे आणि सपाट बाजूंचे पदार्थांचा गुरुत्वमध्य काढण्याची ही पुढील सोपी आणि व्यवहारी रीति आहे; मनांत आण कीं **अ** एक फळें आहे, (आकृति ३७) त्याचा एका **ब** कोंपऱ्यास भोंक पाड, तें असें मोठें कीं त्यांत **क** तार सहज जाईल, आणि तिणें उचलून धरिलें असतां तिचा भोंवतीं तें फळें मोकळेपणानें फिरेल, ह्मणून ती तार टांगण्याचें स्थळ होईल; आणि त्या तारेपासून जर **ब ड** ओळंबा सोडिला तर तो दिग्रेषा दाखवील, आणि त्या फळ्याचा गुरुत्वमध्य ह्या दिग्रेषेंत कोठें तरी असावा. जी दिग्रेषा ओळंब्यानें दाखविली ती फळ्यावर काढून, पूर्वीप्रमाणें फळ्याचा दुसऱ्या **इ** कोंपऱ्यास भोंक पाड आणि त्यांत तार घालून तीस ओळंबा लाव, नंतर जी दिग्रेषा दाखविली जाईल ती **इ ड** रेघ होईल, आणि या रेघेंत कोठे तरी गुरुत्वमध्य असावा; परंतु त्यास दोन स्थळें नस-

आकृति ३७.



तात ह्मणून जा फ बिंदूंत त्या दोन रेघा परस्परांस छे-
दितात, तो बिंदु त्या फळ्याचा गुरुत्वमध्य होईल.

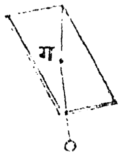
पदार्थाचा गुरुत्वमध्यास आधार मिळाल्यावांचून पदार्थ स्थिर राहूं शकत नाहीं, ह्मणून एकाद्या पदार्थाचा गुरुत्वमध्यापासून पृथ्वीचा मध्याकडे काढिलेली रेघ जर त्या पदार्थाचा बुंधाखालचा स्थळांत पडेल, तर तो पदार्थ नीट बसेल. हलक्या पदार्थांविषयीं ही गोष्ट सहज दाखवितां येईल; जे पदार्थ जमीनींत पुरलेले असतात त्यांजवर अशी कल्पना चालणार नाहीं, ह्मणून त्यांचा गुरुत्वमध्याचें अनुमान, केवळ कृति आणि गणित यांणीं केलें जाईल, त्या हिसाबांत पदार्थाचें वजन, घट्टाई आणि त्यांचा प्रकृतीची स्थिति यांची गणना केली पाहिजे; आणि अशा रीतीनें पदार्थाचा गुरुत्वमध्याचें ठिकाण काढल्यावर तो पदार्थ स्थिर बसेल किंवा नाहीं याचा निर्णय करितां येईल.

वांकडे बुरूज आणि वांकडे मनोरे पृथ्वीवर पुष्कळ ठिकाणीं आहेत, त्यांस वरचासारिखे हिसाब लागू होतात. **इतलि** देशांत **पीसा** नामें एक शहर आहे, त्यांत अशा तऱ्हेचा एक आश्चर्यकारक बुरूज आहे, त्याची उंची १८२ फुटी आहे, आणि तो लंबाबाहेर १६ फुटींहून अधिक तोललेला आहे; याप्रमाणें तो शेंकडों वर्षें उभा आहे, आणि पुढेंही शेंकडों वर्षेंपर्यंत तसाच उभा राहील, असा तर्क करितां येतो. **बोलोन्या** शहरांतील दोन बुरूजही तोललेले आहेत, आणि १५८० वर्षांचा पूर्वीपासून ते तसेच आहेत असें लिहिलें आहे.

दक्षिण **वेल्स** प्रांतांत **लान्डफयाज**वळ **कार्फिली** किल्यांत आग्नेयी दिशेचा बुरुज पुरता ८० फुटी उंच नाहीं, तथापि तो ओळंब्याबाहेर ११ फुटी आहे. अशा जातीचे बुरुज **डोरसेट** प्रांतांत **कोर्फ** किल्यांत व **ब्रिजनार्थ** किल्यांत आहेत, आणि याखेरीज दुसऱ्या पुष्कळ ठिकाणीं आहेत.

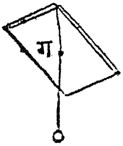
जेव्हां दिग्रेषा पायाचा बाहेर पडत्ये तेव्हां पदार्थाचा आंगीं पडण्याचा जो धर्म येतो तो या पुढल्या उदाहरणावरून स्पष्ट दिसेल.

आकृति ३८.



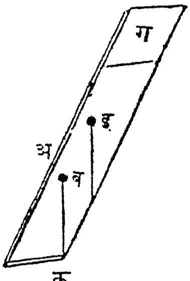
एकादा पदार्थ, (आकृति ३८) चवरंगाचा कांठावर ठेवून त्याचा गुरुत्वमध्यापासून ओळंबा सोडिला असतां, जर त्याची दिग्रेषा पायाचा आंत पडत आहे, तर तो पदार्थ नीट बसेल, कारण कीं त्याचा गुरुत्वमध्यास आधार मिळाला असतो; परंतु जर ती रेषा पायाचा बाहेर पडेल, तर तो पदार्थ चवरंगावरून खालीं पडेल, कारण कीं या पक्षीं त्याचा गुरुत्वमध्यास आधार मिळाला नसतो. त्या लांकडाचा तुकड्यास ३९ व्या आकृतीप्रमाणें उलटून

आकृति ३९.



मांडिल्यानें हें उदाहरण दाखवितां येईल. जर त्या पदार्थाची दिग्रेषा बरोबर पायाचा कांठावर पडत्ये, तर तो पदार्थ अशा तऱ्हेनें बसेल कीं, जा कांठावर दिग्रेषा पडत्ये, त्या बाजूस तो अगदीं थोड्या प्रेरणेनें लोटतां येईल.

आकृति ४०.

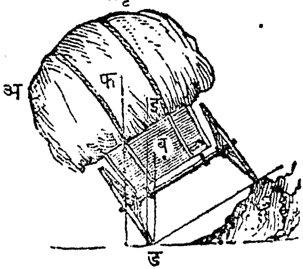


बाजूवरील ४० व्या आकृतींत अ लांकडाचा तुकड्याचा गुरुत्वमध्य ब आहे, तर ब क दिग्रेषा पायाचा आंत पडेल; यामुळें वर सांगितलेल्या कारणावरून तो तुकडा नीट बसेल. परंतु त्या तुकड्यावर दुसरा तुकडा ठेविला असतां सर्व तुकड्याचा गुरुत्वमध्य इ होईल; ह्या बिंदूपासून ओळंबा सोडिला असतां दिग्रेषा पायाचा बाहेर पडेल असें दिसेल, ह्मणून तो सर्व तुकडा खालीं पडेल. याच कारणावरून होडी किंवा गलबत बुडायाचा संधीस येतें तेव्हां आंतील मनुष्याचें एकदांच उभें राहणें मोठें भयकारक होतें, कारण तीं मनुष्यें उभीं राहिलीं असतां, पूर्वींपेक्षां गुरुत्वमध्य कांहींसा वर होतो, तेणेंकरून तो कदाचित् दिग्रेषेचे बाहेर जाऊन असा प्रसंग येतो.

गाड्यावर ओझें घालतांना वजनदार ओझें खालीं रचावें, आणि हलकें त्यावर ठेवावें, कारण कीं गाड्याचा आणि ओझाचा गुरुत्वमध्य जितका खालीं असेल तितकें

त्यास उलटण्याचें भय कमी होईल. ओझानें बळकट भरलेला अ गाडा उतरते रस्त्यावरून चालत आहे, (आकृति ४१); जर भारी वजनाचें सामान खालीं आणि हलक्या वजनाचें वर आशा रीतीनें तो गाडा भरला असेल, तर त्याचा गु-

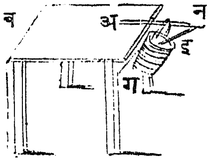
आकृति ४१.



रुत्वमध्य खालीं होईल. तर आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें गुरुत्वमध्याचें स्थान ब आहे असें मनांत आण; त्या स्थानापासून ब ड दिग्रेषा पायाचे आंत पडते, ह्मणजे ती दोन चाकांचामध्यें पडते, ह्मणून गाडीस चांगला आधार आहे, परंतु ओझाचा भिन्न रचनेमुळें गुरुत्वाचें स्थान जर इ जवळ होईल, तर ड इ दिग्रेषा चाकाचा जवळच आंतल्या बाजूस पडेल, आणि त्या योगानें तो गाडा लहानशा धक्यानें उलटेल; आणि जर गुरुत्वमध्य त्याहून उंच असला, ह्मणजे फ जवळ असला आणि दिग्रेषा चाकाचा बाहेर पडत असली, तर तो गाडा केवळ आपल्या वजनानेंच उलटेल.

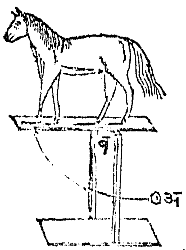
पदार्थाचा गुरुत्वमध्य जितका खालीं असेल तितकी त्याच्या आंगीं दृढता येईल, असें या सांगितल्या गोष्टीवरून उघड आहे, परंतु त्याचा प्रत्यक्ष अनुभव पाहण्याची रीति पुढील आकृतीवरून सहज लक्षांत येईल.

आकृति ४२.



४२ त्या आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें अ काठी नुसती ठेविली असतां, तिचा गुरुत्वमध्य चौरंगाचा बाहेर आहे ह्मणून ती पडेल, आतां त्या काठीस एक पात्र टांग, आणि त्या काठीचा टोंकास न भोंक आहे त्यांत इ काठीचें एक टोंक घालून दुसरें त्या पात्राचा बुंधाशीं पोंचीव. असें केल्यानें आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें तें पात्र लोंबत राहील; कारण कीं काठीनें पात्राचा गुरुत्वमध्यास लंबाबाहेर कांहींसें नेलें आहे, तेणेंकरून त्या सर्वांचा गुरुत्वमध्य चौरंगाखालीं येतो, ह्मणून त्यास चौरंगापासून आधार प्राप्त होतो.

आकृति ४३.



पदार्थाचा गुरुत्वमध्य फार खालीं ठेविल्यानें, जें फळ होतें तें या पुढल्या आकृतीसारिख्या झोंके खाणाऱ्या खेळण्यांत चांगल्या रीतीनें दाखविलें असतें. जर अ गोळा, (आकृति ४३) काढून टाकिला तर तो घोडा लागलाच गोल्हांट खाईल, कारण कीं त्यास कांहीं आधार नाहीं आणि गुरुत्व बिंदु खांबाचा बाहेर आहे; परंतु तो गोळा पुनः ठेविला असतां गुरुत्वमध्याचें स्थान पालटतें, आणि तें त्या खांबामध्यें येतें, तेणेंकरून तो घोडा नीट उभा राहतो. जेव्हां मनुष्य तरतरित उभा असतो, तेव्हां त्याचा गुरुत्वमध्यास पायांचा आधार असतो; जर त्याचे पाय एकत्र बांधिले

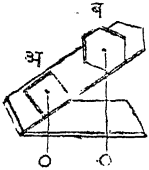
आणि हातही तसेच आंगाबरोबर बांधिले, तर त्याचें शरीर थोडेसें एक बाजूस कललें असतां गुरुत्वमध्य लंबाबाहेर जाईल आणि तो पडेल; जर त्याणें आपले पाय तागले तर त्याचा शरिरास मोठा पाया मिळेल आणि तेणेंकरून तो मजबूत उभा राहील. पाठीवर ओझें नेतांना शरीराचा आणि ओझाचा गुरुत्वमध्य पायांचामध्यें यावा ह्मणून ओझें नेणारा मनुष्य आपला तोल पुढें टाकितो. जर ओझें डोईवर असलें तर तो नीट चालतो, आणि जर तो दोन हातांवर घेऊन जात असला, तर तो आपल्या शरिराचा तोल मागें टाकितो. याच कारणावरून, जेव्हां आपण डोंगर चढूं लागतों तेव्हां पुढें ओणवतों, आणि डोंगर उतरतांना मागें तोल टाकितों. मोठें टेबल एका पायावर राहूं शकणार नाहीं, परंतु त्या पायापुढें तीन खुर असल्यास तें नीटपणीं उभें राहील. मनुष्य जेव्हां चालतो तेव्हां शरिराचा गुरुत्वमध्य पायांचा आंगठ्यांचा दिशेंत यावा, आणि तेणेंकरून कमरेचा खालचा स्नायूंचा पुढें लोटण्याचा व्यापारास साहित्य व्हावें ह्मणून, तो आपल्या शरिराचा तोल पुढें टाकितो. चतुष्पदें कुशीकडचा दोन पायांवर भार ठेवून उठत नाहींत. कारण कीं तसें केल्याने त्यांचा शरिराचा गुरुत्वमध्यास आधार मिळत नाहीं. पदार्थाचा पायांची रुंदी जशी असेल तसा तो पदार्थ नीट अथवा दृढ बसेल; यावरून काठीसारिखे लांब पदार्थ उभे करण्यास अथवा भोंवऱ्यास आरेवर उभें करण्यास मोठें संकट पडतें; आणि शंकूचा आकारासारिखे पदार्थ उलटण्यास तसेच श्रम पडतात, कारण कीं त्यांचा गुरुत्वमध्याची

दिग्रेषा बरोबर पायाचा मध्यभागीं पडत्ये, आणि गुरुत्वमध्याचें स्थानही फार नीच असतें, दोन टोंकांस वजनें बसविलेली लांब काठी हातांत घेऊन दोरावर नाचणारे आपल्या करामती मोठ्या चपळतेनें करून दाखवितात; नाच करित्ये समयीं जे निरनिराळे वांक शरिरास द्यावे लागतात, ते देऊन दिग्रेषा पायांमध्यें पडावी अशा रीतीनें गुरुत्वमध्याचें स्थान काठीचा योगानें पालटितात; हें सर्व करितांना त्यांची दृष्टी दोराजवळचा कांहीं नियमित स्थळावर सर्वकाळ असत्ये; आणि कोणत्या वेळेस कोणत्या तऱ्हेचा वांक शरिरास द्यावा हें त्यांस लागलेंच कळून येतें. पदार्थाचे सर्व अवयव जा बिंदूभोंवतीं एकमेकास तोलून धरितात तो बिंदु त्या पदार्थाचा गुरुत्वमध्य होतो, असें जरीं आहे तथापि तो बिंदु कित्येक पदार्थांचा अवयवांत नसतो, परंतु त्यांणीं व्यापिलेल्या स्थळांत असतो. यास उदाहरण, न्हाव्याची तुंबडी अथवा त्यासारिखे शंकूचा आकाराचे पोकळ पदार्थांचा गुरुत्वमध्य, त्या पदार्थांतील पोकळींत कोठें तरी असतो. त्याचप्रमाणें घोड्याचा नालासारिख्या लवलेल्या तारेचा अथवा वाटोळ्या कडीचा गुरुत्वमध्य, तारेंत असत नाहीं, परंतु त्या तारेचा मधल्या स्थळांत असतो.

पदार्थाचा पाया जितका मोठा पसरट असेल, आणि त्याची दिग्रेषा जितकी मध्याजवळ पडेल, तितका तो पदार्थ दृढ बसेल असें वर सांगितलें. सर्व गोलाकार पदार्थांचा पाया एक बिंदु असतो, ह्मणून ते किंचित् हालले असतां त्यांची दिग्रेषा त्या पायाचा बाहेर जात्ये,

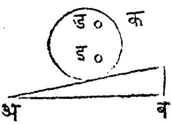
ह्मणून वाटोळा गोळा सपाट जमीनीवर ठेविला असतां सहज गडबडतो. यावरून अ पदार्थाची दिग्रेषा पायाच्या आंत पडत्ये (आकृति ४४); ह्मणून तो उतरणीवरून सरकत सरकत पडेल, परंतु ब पदार्थाची दिग्रेषा पायाच्या बाहेर पडत्ये, ह्मणून तो त्या उतरणीवरून गडबडत खालीं येऊन पडेल.

आकृति ४४.

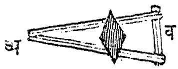


पदार्थाचा गुरुत्वमध्याचें मुळचें स्थान बदलून त्यास नवें स्थान देऊन पुष्कळ तऱ्हेचा यांत्रिक देखत भुली करितात; त्यांतील ही पुढील एक आहे; क वाटोळा दांडा अ ब उतरणीवर ठेविला असतां, त्याचा गुरुत्वमध्य पृथ्वीकडे जातो, ह्मणून तो त्या उतरणीवरून खालीं येईल; (आकृति ४५.) परंतु त्या दांड्यांत एक शिशाचा खिळा एका बाजूवर इ स्थळीं मारिल्यावर तो खालीं येऊं लागला असतां, तो खिळा उचलला जातो, हें त्याचें वर चढणें गुरुत्वाविरुद्ध होतें, ह्मणून तो दांडा खालीं उतरणार नाहीं; जर तो खिळा ड स्थळीं असेल तर तो दांडा इ स्थळीं येऊन पडेल, आणि अशा रीतीनें तो आपल्या वजनानें वर चढेल. पुढील आनंदकारक कृतींत हेंच कारण दाखविलें आहे; दोन पट्ट्या घेऊन त्यांचा अ बाजूचीं टोंकें जोडून दुसऱ्या ब बाजूचीं टोंकें पसरून ठेव आणि हीं पसरलेलीं टोंकें किंचित् उचल,

आकृति ४५.



आकृति ४६.



नंतर ४६ व्या आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें एक दुहेरी शंकूचा आकाराचा कांतलेला लांकडाचा तुकडा, त्या उतरणीचा पायाशीं ठेव, असें केल्यानें तो तुकडा त्या उतरणीवर अ पासून ब पर्यंत चढत जातो असें दिसेल, ही केवळ देखत भूल आहे. परंतु वास्तविक तसें होत नाहीं; कारण कीं जो त्या दुहेरी शंकूचा मध्य, तोच त्याचा गुरुत्वमध्य होय, आणि तो गुरुत्वामुळें वास्तविक खालीं जातो.

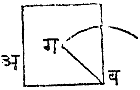
भोंवऱ्याचा गुरुत्वमध्य आरेवर येईल अशा रीतीनें त्यास आरेचा टोंकावर उभें करणें केवळ अशक्य आहे, म्हणून भोंवरा आरेचा अणीवर तरतरित उभा करितां येत नाहीं; असें आहे तरीं भोंवरा फिरविला असतां जोंपर्यंत तो फिरत असतो तोंपर्यंत तो उभा असतो, कारण कीं त्याचा प्रत्येक फेऱ्यांत गुरुत्वमध्याचा स्थानाचे पुष्कळ फेर होतात, आणि तेणेंकरून तो भोंवरा आपल्या भोंवतीं सर्व बाजूंस पडूं लागतो; हे सर्व बाजूंवर पडण्याचे तोल, एकामागून एक त्वरित होत जातात, यामुळें एककाळींच झाल्याप्रमाणें ते एकमेकास नाहींसे करितात.

अंडाकृति पदार्थ सपाट जमीनीवर ठेवून हालविला असतां तो कांहीं वेळपर्यंत आंदोलकाप्रमाणें झोंके खातो; कारण कीं मध्यापासून तो हालविला असतां त्याचा गुरुत्वमध्य एक बाजूवर चढतो, आणि तो लागलाच खालीं येऊं पाहतो; अर्धगोलाकार पदार्थांचाही असाच प्रकार होतो; अशा जातीचा पदार्थांची सपाट बाजू जेव्हां बरो-

वर वरतीं येत्ये तेव्हांच ते स्थिर होतात. लांकडाचा अर्धगोल करून त्यावर गिरादिकांची मनुष्याकृति करून बसविलेली असें एक खेळणें असतें, त्यांत हेंच कारण स्पष्ट दिसून येतें; आणि पायांचाबदल त्या आकृतींत शिशानें भरलेला गुळगुळित अर्धगोल असतो, आणि तें शिसें इतकें खालीं असतें कीं ती आकृति नेहमी उभी राहत्ये; ह्मणून तीस धक्का दिला असतां ती लागलीच उठून उभी राहात्ये.–

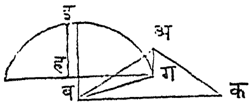
यावरून सामान्यतः पदार्थाचा दिग्रेषेचें स्थान जसें असेल आणि पदार्थ उलटण्याचा पूर्वीं त्याचा गुरुत्वमध्य किती उंच चढवावा लागेल त्याप्रमाणें त्याची बैठक मजबूद होईल. पदार्थ उलटूं लागतो तेव्हां त्याचा गुरुत्वमध्याचा मार्ग वर्तुळांश होतो, आणि त्याचा पायाचा शेवट त्या वर्तुळाचा मध्य होतो. जसें, अ ब चौरस लांकडाचा तुकडा आहे (आकृति ४७) त्याचा गुरुत्वमध्य **ग** आहे, तर **ब** बाजूस उलटत्येसमयीं जा वर्तुळाचा मध्य **ब** आहे, त्या वर्तुळाचा भागांतून त्याचा गुरुत्वमध्य चालतो, आणि **ब** बिंदूवरचा लंबाबाहेर जेव्हां गुरुत्वमध्य जातो तेव्हां तो तुकडा आपल्या वजनानेंच पडतो.

आकृति ४७.



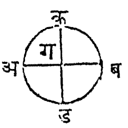
शंकूचा आकारावरून ही गोष्ट सहज दिसून येईल, **ब अ क** (आकृति ४८) एक शंकू आहे, त्याचा गुरुत्वमध्य **ग**, फार नीच आहे, आणि त्याचा पायाही फार रुंद आहे, ह्मणून

आकृति. ४८.

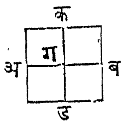


तो उलटून टाकण्याचा पूर्वीं त्याचें पुष्कळ वजन उच्चलिलें पाहिजे, कारण कीं ब बाजूवरून उलटण्यास त्याचा गुरुत्वमध्यास ग इ कौंसांतून नेलें पाहिजे आणि तसें केल्यानें तो गुरुत्वमध्य ह इ उंचींतून उच्चलिला जातो. जर कदाचित् तो शंकू उंच असला आणि त्याचा पाया अरुंद असला, तर ह इ उंची तशाच प्रमाणानें कमी होईल, यामुळें तो सहज उलटितां येईल; यावरून पूर्वीं लिहिल्याप्रमाणें पदार्थाचा दिग्रेषेचें स्थान जसें असेल आणि पदार्थ उलटण्याचा पूर्वीं त्याचा गुरुत्वमध्य किती उंच चढवावा लागेल, त्याप्रमाणें त्याची बैठक मजबूद होईल.—

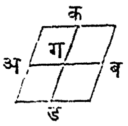
चौरस, समांतरबाजूचौकोन, वर्तुळें इत्यादि आकृति जेव्हां सारिख्या जाडीचा असतात तेव्हां, त्यांचा गुरुत्वमध्याचें स्थान सहज काढितां येतें; जा बिंदुभोंवतीं पदार्थाचा प्रकृतीची रचना सारिखी असत्ये, तोच बिंदु पदार्थाचा गुरुत्वमध्य असतो असें या पुढील उदाहरणावरून स्पष्ट दिसेल. पुढें काढिलेल्या ४९, ५० आणि ५१ व्या आकृती जाड कागदाचा अथवा धातूचा सारख्या घट्टाईचा आहेत असें मनांत आण,



आकृति ४९.



आकृति ५०.

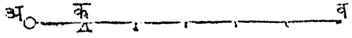


आकृति ५१.

आणि **अ ब** आणि **क ड** रेघांतून प्रत्येक रेघेनें त्या आकृतींचे बराबर दोन तुकडे कर. मनांत आण कीं या प्रत्येक आकृतींत **अ ब** रेघेचा बरोबर, आणि तिशीं समांतर रेघा फार आहेत; तर **अ ब** रेघेचे दोहों बाजूंस समान प्रकृतिपरिमाण आहे आणि त्याची रचनाही सारिखीच आहे; यावरून जर **अ ब** रेघेस आधार दिला तर **अ क ब** आणि **अ ड ब** हे भाग त्या रेघेभोंवतीं आपणास तोलून धरितील, ह्मणून गुरुत्वमध्य **अ ब** रेघेंत असावा; आणि जा रेघा **अ ब** शीं समांतर आहेत त्या **क ड** रेघेनें दुभागिल्या आहेत, यामुळें गुरुत्वमध्य **क ड** रेघेंतही असावा, ह्मणून तो गुरुत्वमध्य त्या रेघांचा **ग** छेदनबिंदूंत अवश्य असावा.

पदार्थाचा जो **गुरुत्वमध्य** तोच त्याचा **जडतेचाही** मध्य होय; उदाहरण, सारख्या जाडीची एक काठी मध्यापासून उचलिली असतां तिचा दोहों टोंकांची **जडता** नाहींशी होऊन तीं टोंकें बरोबर उचलिलीं जातात; परंतु एक टोंकाचा जवळचा कांहीं भाग धरून ती काठी उचलिली, तर **जडतेचा गुरुत्वमध्य** दुसऱ्या बाजूस असतो यामुळें लहान टोंक वर होतें. पदार्थाचा प्रकृतिपरिमाणाचा जो मध्य, तोच सर्वदा गुरुत्वमध्य अथवा जडतेचा मध्य असत नाहीं; उदाहरण, जर एका काठीचा टोंकास पांच शेरांचें वजन वसविलें, आणि दुसऱ्या टोंकास एक शेराचें वजन बस-

आकृति ५२.



विलें, तर क बिंदु मोठ्या वजनापासून जितका लांब आहे, त्याचा पांचपट लांब लहान वजनापासून तो असल्यावर त्यापासून ती काठी उचलिली असतां तीं समतोल रहातील; परंतु अ आणि ब पदार्थांचे आकार बरोबर नाहींत तथापि त्यांचीं प्रकृतिपरिमाणें आणि वेग यांचे गुणाकार बरोबर आहेत, यामुळें त्यांची तुलना घडत्ये. हा विषय पुढील अध्यायांत विस्तारानें सांगितला आहे.

अ आणि ब हे दोन पदार्थ समान नसून जर त्यांचा गुरुत्वमध्य काढायाचा असेल, (आकृति ५३) तर प्रत्येकाचा गुरुत्वमध्य सांधणारी जी रेघ तींत असा

आकृति ५३.

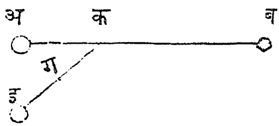


एक बिंदु शोधून काढावा कीं त्या पदार्थांचा मध्यांपासून ह्या बिंदूचें अंतर, त्यांचा प्रकृतिपरिमाणाशीं उलट्या प्रमाणांत होईल, ह्मणजे ब ला जसा अ प्रमाण आहे तशी अ क ला ब क रेघ प्रमाण होईल; यामुळें अ आणि अ क यांचा गुणाकार, ब आणि ब क यांचा गुणाकाराबरोबर होईल; ह्मणून प्रत्येकाचा वेगाघातही बरोबर होईल, आणि ज्यापेक्षां क बिंदूभोंवतीं अ आणि ब परस्परांस तोलून धरितात, यामुळें तो बिंदु अ आणि ब यांचा गुरुत्वमध्य आहे.—

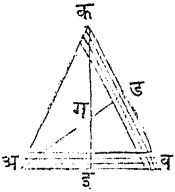
पुनः अ, ब आणि इ या (आकृति ५४) तीन पदार्थांचा गुरुत्वमध्य याच्प्रमाणें काढितां येईल पूर्वीप्रमाणें अ आणि ब यांचा गुरुत्वमध्य क आहे, आणि जर इ क सांधिले, आणि इ क रेघेचे दोन भाग ग बिंदूंत केले,

ते असे कीं **अ** आणि **ब** यांचा बेरिजेस जशी **इ** प्रमाण, तशी **इ ग** रेघ **क ग** रेघेशीं प्रमाण होईल, तर **ग** बिंदूभोंवतीं सर्व समतोल रहातील; यावरून त्या तीन पदार्थांचा गुरुत्वमध्य **ग** बिंदु आहे. याप्रमाणें पदार्थसमुदायाचा गुरुत्वमध्य काढितां येईल.—

आकृति ५४.



आकृति ५५.



त्रिकोणाचा गुरुत्वमध्य या पुढील रीतीनें निघतो. **अ ब क** (आकृति ५५) एक त्रिकोण आहे; त्याचा दोन बाजू दुभागून **अ ड** आणि **क इ** रेघा काढ, तर त्या दोन रेघांचा जो **ग** छेदनबिंदु, तो त्या त्रिकोणाचा गुरुत्वमध्य होईल; नंतर **अ ब** शीं समांतर रेघा कर त्या सर्व रेघा **क इ** नें दुभागिल्या जातील हें स्पष्ट आहे. यामुळें गुरुत्वमध्य **क इ** रेघेंत असेल. आतां **अ ब** शीं समांतर रेघांनीं सर्व त्रिकोण झाला आहे, अशी कल्पना करितां येईल, यावरून त्रिकोणाचा गुरुत्वमध्य **क इ** रेघेंत आहे असें दिसेल; याच रीतीनें तो गुरुत्वमध्य **अ ड** रेघेंत आहे असें दिसेल, आणि तो दोन ठिकाणीं असत नाहीं, ह्मणून **क इ** आणि **अ ड** या रेघांचा जो **ग** छेदनबिंदु तो त्या त्रिकोणाचा गुरुत्वमध्य असावा.—

अध्याय ७.

मूळयंत्रें.

मूळयंत्रें ह्मणजे साधीं यंत्रें आहेत; त्यांचा सहायानें एकादें वजन उचलण्यास अथवा प्रतिबंध दूर करण्यास जी शक्ति लागेल, तिहून अधिक शक्ति यांचा सहाया-वांचून तेंच वजन उचलण्यास लागेल.–

एकमेकास प्रतिबंधक अशा प्रेरणा जेव्हां पदार्थावर घडतात, तेव्हां तो पदार्थ स्थिर रहातो; अशा पक्षीं जा प्रेरणा परस्परांशीं तुल्य होतात, त्यांचा संबंधाचा मात्र विचार करावा लागतो; यंत्रशास्त्राचा या भागांत तुल्यप्रे-रणांचा क्रियांचा विचार सांगितला आहे, ह्मणून तो भाग **स्थिरताप्रकरणांतील** आहे. आणि जेव्हां स्थिर पदा-र्थावर एक किंवा अधिक प्रेरणा होऊन त्याचा आंगीं चलन उत्पन्न होतें, तेव्हां त्या पदार्थाची चलनादिशा, वेग, आणि चलनाची काळमर्यादा या तीहींचा विचार करावा लागतो, आणि जा भागांत या गोष्टींचें विवेचन केलें आहे तो भाग **चलनप्रकरणांत** येतो.–

यंत्रें नवी शक्ति उत्पन्न करित नाहींत, परंतु शक्तीस एका पदार्थांतून दुसऱ्या पदार्थांत नेतात, अथवा तिचा कांहीं रूपभेद करितात; एकाद्या वजनावर अथवा प्रतिबं-धावर शक्तीची योजना यंत्राचा योगानें सुलभ आणि स्वा-र्थकारक असून हव्या त्या बाजूनें करितां येत्ये, तशी यांचा सहायावांचून होण्यास केवळ अशक्य आहे. जर

मनुष्य आपल्या सर्व शक्तीनें १०० शेरांचें वजन एक सेकंदांत कांहीं उंच उचलितो, तर १००० शेरांचें वजन **त्याच काळांत** आणि **तितक्याच उंचीवर** उचलण्याचें सामर्थ्य त्याचा आंगीं आगणारें असें एकही यंत्र नाहीं; ह्मणून त्या वजनाचें दहा भाग करून एक एक भाग वर उचलिला पाहिजे; जरी तें वजन **एकदांच** उचलण्याचें सामर्थ्य त्याचा आंगीं यंत्रानें येईल, तरी १०० शेरांचें वजन हातानें उचलण्यास जो काळ लागेल त्याचा दसपट काळ त्या यंत्राने लागेल.–

कोणीएक मनुष्य ४० शेरांचें वजन भूमीवरून उचलून तीन फुटी उंचावर ठेवायास इच्छितो, तर तें वजन लहान आहे, ह्मणून नुसत्ये हातांनीं उचलून त्या ठिकाणीं ठेवितां येईल; जसे त्या मनुष्याचे हात वर होतात, तसें त्याचा हातांतील वजन वर होतें, यामुळें या पक्षीं पदार्थांचा गमनाचा वेग प्रेरणेचा बरोबर आहे हें स्पष्ट आहे. परंतु जर त्यास कांहीं मोठें वजन उचलायाचें असेल, ह्मणजे ६०० शेरांचें वजन त्याच ठिकाणीं ठेवणें असेल तर, या पक्षीं यंत्राचा सहायाची गरज पडेल, त्या यंत्राचा योगानें त्याचा शक्तीची योजना अशी होईल कीं, ६०० शेरांचा वजनापेक्षां ४० शेरांचें वजन जितकें कमी आहे, तितका ४० शेरांचा वेगापेक्षां या मोठ्या वजनाचा वेग कमी होईल, ह्मणजे या पक्षीं पंध्रापट कमी होईल. परंतु हें वजन पंध्रापट जड आहे, यामुळें वरचा उदाहरणांत सिद्ध केल्यावरून तें पंध्रापट हळू चालेल.

यंत्राचा गणितरूप विचारांत, त्याचे अवयव, घर्षण

व्यतिरिक्त आणि केवळ ताठ आहेत असें कल्पिलें असतें, आणि त्यांचा आंगीं वजन अथवा जडता ही नाहीं असेंही मानिलें असतें. दोर आणि दोऱ्या अगदीं नरम आहेत असें कल्पितात; आणि जेव्हां यंत्र चालतें, तेव्हां त्यास हवेपासून कांहीं प्रतिबंध होत नाहीं असें मानावें लागतें. यंत्राची योजना कशी करावी हें समजण्यासाठीं या पुढील चार वस्तूंचा विचार केला पाहिजे; प्रथम, जो कांहीं भार किंवा वजन उचलावयाचें असतें तें; दुसरी, त्या भारास किंवा वजनास उचलून धरणारी जी मनुष्य, घोडा अथवा वाफ इत्यादिकांची शक्ति कामांत घेतात ती; तिसरी, आधार अथवा **टेंकू**; चवथी, उचलायाचें वजन किंवा भार आणि शक्ति यांचे वेग. जें वजन उचलायाचें असतें त्यास **उच्चाल्यवजन** असें ह्मणतात; आणि जी शक्ति त्या वजनास तोलून धरित्ये तीस **उच्चालकशक्ति** असें ह्मणतात.

मूळ यंत्रें तीन आहेत;

१ उच्चालक.

२ कप्पी अथवा दोरी.

३ उतरण.

कांहीं ग्रंथकर्त्यांनीं यांस मुख्य मूळयंत्रें असें ह्मटलें आहे, आणि त्यांतील पहिल्याचा आणि तिसऱ्याचा योगानें दुसरीं तीन झालीं आहेत.

१ आंसास खिळलेलें चाक, हें उच्चालकापासून झालें आहे.

२ पाचर अथवा खीळ, ही उतरणीपासून झालेली आहे.

३ मळसूत्र, हें उतरणीपासून झालें आहे.

या तिहींस गौण मूळयंत्रें ह्मणतां येईल.–

कोणत्या जातीचें कसेंही बिकट यंत्र असो, तथापि तें या सहा मूळ यंत्रांपासून झालें आहे असें दाखवितां येईल.

उच्चालक.

सर्व यंत्रांत अतिशय साधें यंत्र उच्चालक आहे; लोखंडाची, लांकडाची अथवा दुसऱ्या कांहीं पदार्थाची काठी अथवा दांडा उच्चालक आहे, आणि त्यास आधार देण्याकरितां एक बिंदूरूप टेंकू असतो, त्यावर तो फिरतो.

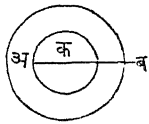
उच्चालकाचा विचार करण्याचा पूर्वीं **उच्चालक शक्ति**, **टेंकू** आणि **उच्चाल्यपदार्थ**, या तीन वस्तूंचा विचार प्रथम केला पाहिजे. उच्चालकशक्ति ह्मणजे, जी शक्ति उच्चाल्यपदार्थास उच्चलित्ये अथवा आधार देत्ये ती; टेंकू ह्मणजे, धीर किंवा आधार आहे; आणि उच्चाल्यपदार्थ ह्मणजे, वजन इत्यादि जो उच्चलून धरण्याचा किंवा दूर सारण्याचा पदार्थ असतो तो. खरें ह्मटलें असतां उच्चाल्यपदार्थ आणि उच्चालकशक्ति या दोन्ही प्रेरणा आहेत, परंतु त्यांत कांहीं भेद दाखविण्याकरितां हीं त्यांस निरनिराळीं नावें दिलीं आहेत.

तराजूचा दांडीसारिखा जेव्हां उच्चालक, एकादा

आंसाभोंवता फिरतो, तेव्हां तो आंस किंवा मध्य यापासून जशीं त्याचा निरनिराळ्या भागांचीं अंतरें असतील, त्याप्रमाणें त्या भागांचें वेगही भिन्न होतील; या प्रतिज्ञेची सत्यता पुढील उदाहरणावरून एकदांच दिसून येईल.

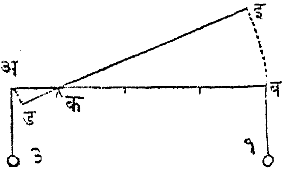
अ ब एक सरळ उच्चालक आहे, आणि तो क टेंकूभोंवतीं फिरतो; त्या उच्चालकाचा अ क आणि क ब बाजूंचा फिरण्यानें क बिंदूभोंवतीं वर्तुळ कौंस होतात, ते कौंस त्या बाजूंचा लांब्यांशीं प्रमाणांत असतात. जा स्थळांतून त्या बाजूंचें गमन होतें त्या स्थळांशीं त्यांचे वेगही प्रमाणांत असतात, ह्मणजे ते वेग त्या कौंसांशीं प्रमाणांत असतात, यामुळें अ क पेक्षां क ब बाजू जितकी अधिक लांब असेल, त्या प्रमाणानें ब बिंदूचा वेग अ बिंदूचा वेगापेक्षां अधिक होईल, अथवा दुसऱ्या तऱ्हेनें ह्मटलें असतां बाजू जितकी लांब असेल, तितका वेग अधिक होईल.

आकृति ५६.



पुढील ५७ व्या आकृतींत अ ब एक उच्चालक आहे आणि तो क टेंकूवर ठेविला आहे, त्याची ब क बाजू तीन इंच, आणि अ क बाजू एक इंच लांब आहे, मनांत आण कीं अ टोंकाशीं तीन तोळ्यांचें वजन टांगिलें आहे, आणि ब टोंकाशीं दुसरें एक तोळ्याचें वजन आहे, यावरून वजनें आणि टेंकूपासून त्यांचीं अंतरें हीं परस्परांशीं उ-

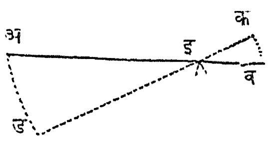
आकृति ५७.



लल्या प्रमाणांत होतील. यापक्षीं अ ब उच्चालक कोणत्येही बाजूस झुकणार नाहीं, तो समतोल राहील; कारण कीं मोठ्या वजनाचा भारामुळें तोंकडी बाजू खालीं दबत्ये, तेव्हां तिचा गमनापासून अ ड कौंस होतो, आणि त्या वजनानें ब टोंक उंच होतें, तेव्हां त्याचा गमनानें ब इ कौंस होतो; आणि अ क आणि ब क बाजूंशीं अड आणि ब इ कौंस प्रमाणांत आहेत, यामुळें ते कौंस १ : ३ या प्रमाणांत होतील; यावरून अ टोंकाजवळचें तीन तोळ्यांचें वजन अ ड स्थळांतून चालतें तें स्थळ १ असें कल्पिलें आहे; आणिं त्याच समयीं ब टोंकाजवळचें एक तोळ्याचें वजन ब इ स्थळांतून जातें तें इ ब स्थळ ३ आहे; हे त्या दोन्हीं वजनांचे जाण्याचे कल एकमेकास प्रतिबंध करितात, अथवा एकमेकाचा नाश करितात, ह्मणजे दोन्हीं वजनांचे वेगाघात बरोबर असून त्यांचे झोंक एकमेकांशीं उलटे आहेत, यामुळें त्या वजनांतून कोणतेंही खालीं किंवा वर होणार नाहीं, परंतु तीं दोन्हीं स्थिर राहातील.

अ ब एक उच्चालक आहे, त्यास टेंकूवर ठेवून फिरविल्यानें त्याची स्थिति ड क रेषेप्रमाणें आहे असें मनांत आण, (आकृति ५८); तर चलनमध्यापासून ड टोंक लांब आहे, आणि जा काळांत ब क कौंसांतून ब टोंकाचें गमन घडतें त्याच काळांत अ ड कौंसांतून ड टोंकाचेंही गमन घडतें, यावरून अ चा वेग ब चा वेगापेक्षां अवश्य अधिक

आकृति ५८.



असावा हें उघड आहे. परंतु वेगाघात ह्मणजे वेग आणि वजन यांचा गुणाकार आहे, ह्मणून कांहींएक गुणाकार येण्यासाठीं, वेग मोठा असला तर वजन लहान असावें. यावरून अ चा वेग मोठा आहे, ह्मणून तुलना होण्याकरितां त्यास ब पेक्षां वजन लहान लागेल. वर्तुळांचा त्रिज्या त्यांचा परिघांशीं प्रमाणांत असतात, तशाच त्या त्रिज्या वर्तुळांचा सरूप भागांशींही प्रमाणांत असतात; आतां अ ड आणि ब क कौंस सरूप आहेत, यावरून त्या दोहोंत जें प्रमाण आहे तेंच प्रमाण, ड इ आणि इ क त्रिज्या किंवा बाजू यांतही असेल; आणि अ ड आणि ब क स्थळांतून उच्चालकाचा टोंकांचें गमन एका काळांत झालें, आणि तीं स्थळें अथवा कौंस, त्या टोंकांचा वेगांचे दर्शक आहेत, यावरून ड इ आणि इ क बाजूही त्या वेगांचा दर्शक होतील. या सर्व गोष्टींवरून हें स्पष्ट आहे, कीं अ इ बाजू आणि अ शक्ति यांचा गुणाकार, इ ब बाजू आणि ब वजन यांचा गुणाकाराबरोबर होतो, तेव्हां तुलना होत्ये; ह्मणून इ ब बाजू जितकी लहान असेल, तितकें ब वजन मोठें असावें; ह्मणजे उच्चालकशक्ति आणि उच्चाल्यवजन हीं टेंकूपासून आपआपल्या अंतराशीं उलट्या प्रमाणांत असावीं. उदाहरण, टेंकूपासून उच्चालकशक्तीची अ इ लांबी १० इंच आहे असें मनांत आण, आणि टेंकूपासून उच्चाल्यवजनाचें इ ब अंतर ५ इंच आहे, ब टोंकाजवळचें वजन ४ तोळे आहे असें घे; तर अ टोंकावर लावण्याची उच्चालकशक्ति २ तोळ्यांची असावी, कारण कीं, टेंकूपासून उच्चाल्यवज-

नाचें अंतर ५ इंच आहे, आणि त्याचें वजन ४ तोळे आहे, तेव्हां यांचा गुणाकार वीस आहे, (५×४=२०) पुनः टेंकूपासून उच्चालकशक्तीचें अंतर १० इंच आहे, ह्मणून वरचाइतका गुणाकार येण्यासाठीं त्यांस २ नीं गुणिलें पाहिजे, ह्मणजे (१०×२=२०) असें असल्यानें मात्र तुलना होत्ये.—

उच्चालक तीन प्रकारचे आहेत; उच्चालकशक्ति, उच्चाल्यवजन आणि टेंकू यांचा स्थानभेदेंकरून हे प्रकार होतात.

पहिल्या प्रकारचा उच्चालकांत, उच्चालकशक्ति आणि उच्चाल्यवजन यांमध्यें टेंकू असतो.

दुसऱ्या प्रकारचा उच्चालकांत, टेंकू आणि उच्चालकशक्ति यांमध्यें उच्चाल्यवजन असतें.

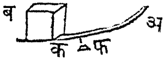
तिसऱ्या प्रकारचा उच्चालकांत टेंकू आणि उच्चाल्यवजन यांमध्यें उच्चालकशक्ति असत्ये.—

उच्चालकाचा मुख्य नियम या पुढीलप्रमाणें आहे; ह्मणजे, उच्चालकशक्ति आणि उच्चाल्यवजन हीं टेंकूपासून आपआपल्या अंतरांशीं उलट्या प्रमाणांत असावीं, ह्मणजे एकाद्या उच्चाल्यवजनाशीं जी उच्चालकशक्ति समान होत्ये, ती जर लहान असली तर टेंकूपासून तिचें अंतर अधिक असावें. जेव्हां उच्चालकशक्तीचा वेगाघात, उच्चाल्यवजनाचा वेगाघाताबरोबर असतो, तेव्हां तीं दोन्ही समतोल होतात.

पहिल्या प्रकारचा उच्चालक.

पहिल्या प्रकारचा उच्चालकांत, उच्चालकशक्ति आणि उच्चाल्यवजन यांमध्यें टेंकू असतो. त्याचा उपयोग मोठमोठीं वजनें उच्चलण्यांत, दगड सोडविण्यांत इत्यादि कामांत लागतो; जेव्हां त्यास अशा तऱ्हेनें कामांत आणितात, तेव्हां त्यास तरफ ह्मणतात. पहिल्या प्रकारचा उच्चालक बाजूवरील (५९) व्या आकृतींत दाखविला आहे. जां टोंकास **उच्चालकशक्ति** किंवा **प्रेरणा** लागू करण्याची तें टोंक आकृतींत **अ** आहे, **फ टेंकू** अथवा **आधार** आहे, आणि **ब उच्चाल्यवजन** आहे.

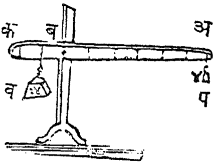
आकृति ५९.



आकृतींत दाखविलेली **फ** पासून **अ** पर्यंत बाजू जितकी लांब असेल, त्याप्रमाणें ८५ पृष्ठावरील सांगितलेल्या रीतीवरून वजन उच्चलण्यास उच्चालकशक्ति थोडी पुरेल. त्याच आकृतींत जर **फ क** बाजूचे दुप्पट **अ फ** बाजू आहे, तर उच्चालकास दुप्पट शक्ति मिळाली असें ह्मणतात; ह्मणून **अ** वजन कितीही मोठें असो तथापि उच्चालकाचा सहायावांचून त्यास उच्चलण्यास जी शक्ति लागेल, तिचा निम्मे शक्ति **अ** टोंकावरून उच्चलण्यास पुरेशी होईल.– जर **फ टेंकू ब** वजनाकडे सारिला, असा कीं **अ फ** बाजू **क फ** बाजूचा दसपट होईल, तर उच्चालकाचा आंगीं दसपट सामर्थ्य येईल; आणि याप्रमाणें उत्तरोत्तर अधिक सारित गेलें असतां अधिक सामर्थ्य येत जाईल. असें जरी आहे तरी या पक्षीं **क** टोंक जितकें

वर उंच होईल, त्याचा दसपट अ टोंक खालीं होईल; यामुळें वजनास अति लहान चलन मिळेल. **अ ब क** (आकृति ६० वी) ही उच्चालकाची दुसरी एक आकृति आहे, तींत **ब** टेंकू आहे, **अ** पासून **ब** पर्यंत उच्चालकाची लांब बाजू आहे, आणि **ब** पासून **क** पर्यंत तोंकडी बाजू आहे. **अ** टोंकावर भार घालणारी उच्चालकशक्ति **प** आहे. तोंकड्या बाजूवर **ब** स्थळीं टांगिलेलें उच्चाल्यवजन **व** आहे.

आकृति ६०.



प वजन लहान असतां त्याचा योगानें **व** अति मोठें वजन तोलितां यावें हा या उच्चालकाचा उद्देश आहे. सर्व पक्षांत जर उच्चालकशक्तीचा **वेगाघात**, उच्चाल्यवजनाचा वेगाघातावरोबर असेल, तर ती उच्चालकशक्ति उच्चाल्यवजनास तोलून धरील. उच्चालकशक्ति आणि टेंकूपासून तिचें अंतर हीं दोन्ही गुणिलीं असतां उच्चालकशक्तीचा वेगाघात निघतो; आणि उच्चाल्यवजन आणि टेंकूपासून त्याचें अंतर हीं गुणिल्यानें उच्चाल्यवजनाचा वेगाघात निघतो. ह्मणजे, **प** वजनांत जितके तोळे असतील त्यांस **अ ब** रेघेंतील सर्व इंचांनीं गुणून जो गुणाकार येईल, तो गुणाकार, **ब** वजनांतील तोळे आणि **ब क** रेघेंतील इंच यांचा गुणाकाराबरोबर होईल, तर तुलना होईल. उदाहरण, मनांत आण कीं **प** वजन ४ तोळे आहे, आणि **अ** पासून **ब** पर्यंत अंतर ६ इंच आहे, या दोहोंचा गुणाकार २४ आहे आणि जर **व** वजनांत २४ तोळे आहेत,

त्यांस ब पासून क पर्यंत जें १ इंच अंतर आहे त्याणें गुणिलें, तर गुणाकार २४ होईल; यावरून उच्चालक समतोल राहील. त्याचप्रमाणें जर उच्चालकाचा तोकड्या बाजूचा टोंकास २४ तोळ्यांचें वजन टांगिलें आहे, आणि टेंकूपासून त्याचें अंतर २ इंच आहे, आणि उच्चालकाचा लांब बाजूस किती वजनाची उच्चालकशक्ति असावी हें समजण्याची माझी इच्छा आहे, तर २४ तोळ्यांचें वजन आणि टेंकूपासून त्याचें अंतर हीं परस्पर गुणितों, तेणेंकरून त्याचा वेगाघात ४८ येतो, (२४×२=४८) नंतर लांब बाजूंत ६ इंच आहेत, त्यांणीं वरचा गुणाकार भागितों, तेव्हां भागाकार ८ येतो, (६×८=४८) ह्मणून २४ तोळ्यांचें वजन तोलून धरण्यास, मोठ्या बाजूचा टोंकास लावण्यास जी उच्चालकशक्ति पाहिजे ती ८ आहे. वरचा सर्व कारणावरून ही पुढील रीति काढितां येत्ये; "उच्चाल्यवजन आणि टेंकूपासून त्याचें अंतर हीं दोन्ही गुण, नंतर उच्चालकशक्ति आणि टेंकूपासून तिचें अंतर यांचाही गुणाकार कर, आणि जर हे दोन्ही गुणाकार बरोबर येतील, तर उच्चाल्यवजन आणि उच्चालकशक्ति हीं एकमेकास तोलून धरितील." यावरून असा निर्णय होतो कीं, जेव्हां मोठें वजन उचलण्याकरितां लहान वजनाची गरज असत्ये, तेव्हां टेंकूपासून, उच्चालकशक्ति लांब अथवा उच्चाल्यवजन टेंकूजवळ अवश्य असावें. यंत्रशास्त्रांत जा कारणावरून अशीं कार्यें होतात, त्यास **वितर्अल्विलोसितीचा** नियम ह्मणतात. ह्मणजे कांहीं काळांत एका लहान वजनाचें गमन मोठ्या

स्थळांतून होतें आणि एका मोठे वजनाचें गमन तितक्याच काळांत लहान स्थळांतून होतें, या दोहोंचीं फळें तुल्य होतात; अथवा हाच अर्थ दुसऱ्या शब्दांनीं याप्रमाणें लिहितां येतो; ह्मणजे, वेग अथवा काळ यांत जितका नफा होतो तितका शक्तीचा नाश होतो, ह्मणजे शक्ति अधिक लागत्ये.

उचलावयाचें वजन आणि उचलणारी शक्ति यांत जें प्रमाण असतें, त्याप्रमाणें यंत्राचा गुण किंवा सामर्थ्य असतें; आणि तें प्रमाण जसें अधिक किंवा उणें असतें त्याप्रमाणें यंत्राचा गुण किंवा सामर्थ्य अधिक किंवा उणें होतें. जसें एका उच्चालकांत जर १ शेराचें वजन १५ शेरांचा वजनास तोलून धरितें, तर या यंत्राचा गुण किंवा शक्ति १५ आहे; पुनः जर २ शेर वजनाची शक्ति २४ शेरांचा वजनास तोलून धरित्ये, तर, २४ यांत २ बारावेळा जातात, ह्मणून या यंत्राचा गुण किंवा शक्ति १२ आहे.–

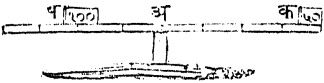
टेंकूचा संबंधानें उच्चाल्यवजन आणि उच्चालकशक्ति यांचा स्थानभेद केल्यानें, उच्चालकाचा गुण किंवा शक्ति यांत फेरफार करितां येईल. एखाद्या यंत्रांत उच्चालकशक्ति आणि उच्चाल्यवजन यांतील प्रमाण कसेंही असो, तरी त्या दोहोंत तेंच प्रमाण राही अशी उच्चालकाची योजना करितां येईल. त्या यंत्राचा संबंधानें अशा उच्चालकास यंत्राचा **बरोबरीचा उच्चालक** असें ह्मणतात.–

उच्चालकशक्ति आणि टेंकूपासून तिचें अंतर यांचा गुणाकार, आणि उच्चाल्यवजन आणि टेंकूपासून त्याचें अंतर यांचा गुणाकार, हें दोन्ही गुणाकार बरोबर असावे

हा सरळ उच्चालकाचा तुलनेचा मुख्य निर्बंध आहे; यावरून असें ठरतें कीं टेंकूपासून उच्चालकशक्तीचें अंतर वाढविल्यानें, उच्चालकशक्ति कमी करितां येईल. त्याचप्रमाणें उच्चालकशक्ति आणि टेंकूपासून तिचें अंतर यांचा गुणाकाराबरोबर, उच्चाल्यवजन आणि टेंकूपासून त्याचें अंतर यांचा गुणाकार होईल, अशा तऱ्हेनें टेंकूकडे उच्चाल्यवजन सारिलें, तरीही तुलना घडेल. उच्चालकशक्ति आणि उच्चाल्यवजन यांतील प्रमाणाची गणना करित्येसमयीं, उच्चालकाचा लांब आणि तोंकड्या बाजूंचा विचार करण्यांत सावधगिरी ठेविली पाहिजे. कारण कीं, वजन आणि अंतर यांचा **एकंचा जाती** कोणत्याही असल्या तरी चिंता नाहीं, परंतु ते एकं दोहों बाजूंस सारिखे असावे; ह्मणजे, जर तोंकड्या बाजूचा लांबीचें एकं इंच असले, तर लांब बाजूचा लांबीचें एकं इंचच असावें. याचप्रमाणें जर एका बाजूचा वजनाचें एकं तोळे असले तर दुसऱ्या बाजूचें एकं तोळे असले पाहिजेत.

पहिल्या प्रकारचा उच्चालकाचें हें पुढील उदाहरण आहे. एक वजनानें जड आणि दुसरा वजनानें हलका असे दोन मुलगे, एका फळ्याचा दोन शेवटांवर बसले, तर फळें समतोल होण्याकरितां मोठ्या मु-

आकृति ६१.



लास **अ** टेंकूजवळ यावें लागेल. मनांत आण कीं फळ्याची लांबी ८ फुटी आहे, आणि मुलांचा ठिकाणीं **क** आणि **ब** अशीं वजनें घे, तर ५० शेरांचें लहान वजन टेंकू-

पासून ४ फुटांवर आहे, ह्मणून त्याचा वेगाघात २०० आहे, कारण, (५०×४=२००) आणि मोठें वजन १०० शेरांचें आहे, याजकरितां दुसऱ्या वजनास तोलून धरावें ह्मणून हें वजन टेंकूपासून २ फुटी लांब असावें; कां कीं, (२×१००=२००) तर यावरून असें कळतें कीं उच्चालकाचा जा बाजूस वजन टांगिलें असतें, ती बाजू दुसऱ्या बाजूचा पेक्षां जर २,३, अथवा ४ पट लहान असेल तर प्रत्येक पक्षीं तुलना होण्याकरितां, लांब बाजूचा टोंकावरचें वजन दुसऱ्या बाजूचा वजनापेक्षां २,३, अथवा ४ पट हलकें असावें.

व्यवहारांत या उच्चालकाचा आधारापासून झालेलीं अशीं यंत्रें नेहमीं उपयोगांत येतात. लोखंडाचा बळकट खिळ्यावर ठेविलेला असा लांब उच्चालक युद्धप्रसंगीं तोफा मारण्यांत गोलंदाजांस लागतो.

गवंडी, पाथरवट, इत्यादि कारागिर लोक, मोठमोठीं वजनें थोड्या स्थळांतून उचलण्यासाठीं, तरफरूप उच्चालकाचा उपयोग करितात. दरवाजे, कुलपें, अथवा बिजागरीं मोडण्यासाठीं चोर लहानसा खिळा घेतात.

भटींतील कोळसे सारण्याकरितां जी लोखंडाची शीग घेतात ती या विषयाचें एक उदाहरण आहे; तिला भटीची बाजू हा टेंकू आहे, व मनुष्याचा हाताचा दाब ही शक्ति आहे, आणि कोळसे हें उचलावयाचें वजन आहे. टेंकू आणि वजन ठेवण्याचें ठिकाण यांमधील अंतर, यापेक्षां टेंकू आणि शक्ति यांचें अंतर जितकें मोठें असेल, त्याप्रमाणें या सर्व उदाहरणांत उच्चालकास शक्ति मिळेल.

जर उच्चालकाचा दोन्ही बाजू बरोबर असतील, अथवा शब्दभेदानें ह्मटलें असतां, जर उच्चालकशक्ति आणि उच्चाल्यवजन यांचा बरोबर मध्यभागीं टेंकू असेल, तर कांहीं स्वार्थ होणार नाहीं; कां कीं त्यांचें खालीं वर होणें एकाच काळांत आणि समान स्थळांतून होतें; आणि जेव्हां शक्ति प्राप्त होत्ये तेव्हां काळ अधिक लागतो असें वर सांगितलें; परंतु या पक्षीं वेळेचा तोटा झाला नाहीं यामुळें शक्तीचाही नफा झाला नाहीं. कापायाची कातर ह्मणजे वर सांगितलेल्या जातीचे दोन उच्चालक एका खिळ्याचा योगानें जोडिलेले असतात; जो खिळा त्यांस एकत्र जोडितो, तो त्या उच्चालकांचा टेंकू आहे; जा बोटांनीं कातर धरिली असत्ये तीं बोटें उच्चालकशक्तिस्थानीं आहेत; आणि जो पदार्थ कापायाचा असतो तो उच्चाल्यवजन अथवा प्रतिबंध असतो; यावरून कातरीचे दांडे जितके लांब असतील, आणि तिचीं टोंकें जितका तोंकडीं असतील, त्याप्रमाणें कोणताही पदार्थ सहज कापितां येईल. दिव्याची कोजळी कापायाची कातर आणि पुष्कळ जातीचे चिमटे वरचा जातीचीं उदाहरणें आहेत. त्यांत मागल्या बाजूपेक्षां पुढली बाजू जितकी लाहान असत्ये तितकें त्यांचें सामर्थ्य अधिक असतें.–

पदार्थ तोलावयाची तराजू एक उच्चालक आहे; आणि जा बिंदूवर तराजूची दांडी राहत्ये तो बिंदु उच्चालकाचा टेंकू आहे, आणि परड्यांतील वजनें दोन प्रेरणा आहेत. उच्चालकाचा जा योजना आहेत त्यांतून ही एक सुंदर आणि उपयोगी योजना आहे. जेव्हां तराजूचा

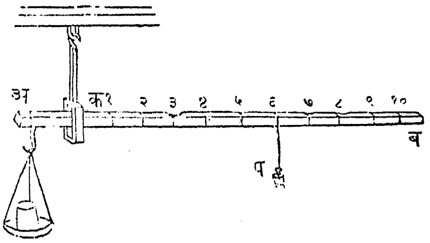
परड्यांत सारिखीं वजनें असतात, तेव्हां दांडी सारिखी आडवी राहत्ये, कां कीं टेंकूपासूनचीं अंतरें समान वजनानें गुणिलीं असतां गुणाकार बरोबरच होतील, याजवरून परड्यांवर समान वजनाचे समान झोंक विरुद्ध दिशेंत घडतात, तेणेंकरून ते झोंक एकमेकांचा फलाचा नाश करितात, आणि तेणेंकरून परडीं रिकामीं असतांना जी त्यांची स्थिति असत्ये, त्या स्थितीप्रमाणें तीं राहतात. जेव्हां परड्यांत समान वजनें असतात तेव्हांच मात्र तराजू आडवी सारिखी राहत्ये हें उघड आहे; कारण कीं जर एक वजन दुसऱ्यापेक्षां अधिक असेल, तर तराजू मोठ्या वजनाकडे झुकेल.

ठकविण्याचा हेतूनें कृत्रिमी तराजू नेहमी करितात, त्यांत तोलायाचा पदार्थ ठेवायाची बाजू, दुसऱ्या वजन ठेवायाचा बाजूपेक्षां लांब असत्ये, त्यामुळें एक बाजू दुसरीपेक्षां जितकी लांब असत्ये, तितका एकादा पदार्थ कमी तोलला जातो. तोलण्याचा पदार्थ आणि वजन यांचा पालट केल्यानें तराजूचा खोटेपणा समजांत येतो. जर पदार्थाचें खरें वजन काढण्याचें आहे, तर तें या पुढील कृतीनें काढितां येईल; पदार्थ दोहों परड्यांत वजन करावा आणि त्या वजनांचा गुणाकार करून त्या गुणाकाराचें वर्गमूळ काढावें तें त्या पदार्थाचें खरें वजन होईल.— जसें एक पदार्थ एक परड्यांत १२ शेर भरतो, आणि तोच दुसऱ्यांत ८$\frac{१}{३}$ शेर भरतो; तर १२ आणि ८$\frac{१}{३}$ यांचा गुणाकार १०० आहे, आणि त्याचें वर्गमूळ १० आहे,

कारण १० त्यांणीं तेच गुणिले असतां १०० होतात, यामुळें त्या पदार्थाचें खरें वजन १० शेर आहे.–

स्तीलयार्ड ह्मणून एक तराजूचा भेद आहे, आणि त्याची प्रघात रोमन लोकांत फार होती यामुळें, त्यास कांहीं ग्रंथकर्त्ते **रोमन तराजू** असें ह्मणतात, ती या जातीचा उच्चालकाचें दुसरें एक उदाहरण आहे. त्या तराजूंत एक उच्चालक असतो, त्याची एक बाजू लांब, आणि दुसरी बाजू तोंकडी असत्ये; त्याचा दांडीवर भागचिन्हें केलेलीं असतात; आणि ती दांडी (६२ आकृति) **क** टें-

आकृति ६२.



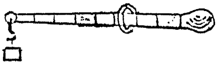
कूवर फिरत्ये, त्या दांडीची तोंकडी बाजू **अ** आहे, आणि लांब बाजू **ब** आहे, तोलावयाचे पदार्थ ठेवण्याचें परडें **ड** आहे, आणि **प** एक लहान वजन आहे, तें भागिलेल्या दांडीवरून सरतें; परड्यांतील वजन जितकें जड असतें त्याप्रमाणें **प** वजनास टेंकूपासून दूर सारावें लागतें; आणि परड्यांतील वजनास तोलून धरील अशा ठिकाणीं जेव्हां त्या लहान वजनास नेऊन ठेवितात त्या ठिकाणींचा अंक त्या पदार्थाचें वजन दाखवितो. उदाहरण, जर **प** वजन

एक शेर असून तें ६ व्या अंकाशीं आहे तर, तें आपल्या साहापट वजनास अथवा ६ शेर वजनास परड्यांत तोलून धरील हें उघड आहे.—

चिनईलोक लहान पदार्थ नाजूक स्तीलयार्डानें तोलितात; त्याची दांडी लांकडाची असत्ये, आणि ती सुमारें ६ इंच लांब असत्ये, आणि तीस एक भोंक पाडून त्यांतून बारीक रेशिमाची दोरी घातलेली असत्ये, ती टेंकूचें काम करित्ये, त्याजबरोबर एक लहान वजन असतें, तें त्या दांडीवरून हवें तिकडे सारितां येतें, आणि तोलण्याचे पदार्थ ठेवण्याकरितां दांडीचा तोंकड्या बाजूस एक लहानसें परडें असतें.—

डेनिश लोकांची तराजू ही स्तीलयार्डाचा एक प्रकार आहे त्यांत वजनाचें स्थान बदलावें तें न बदलतां टेंकूचें स्थान बदलतें. ती तराजू अगदीं साधी आहे. त्यांत एका लोखंडाचा दांडीचा एका टोंकास वजन बशिवलेलें असतें आणि दुसऱ्या टोंकास आंकडा असतो, व एक कडी दांडीवरून सरत्ये, ती टेंकूचें काम करित्ये, तिचा योगानें सर्व उचलून धरितात. तोलण्याचा पदार्थ आंकड्यास टांगितात, आणि तुलना होईपर्यंत टेंकू सारितात; नंतर दांडीवरचा भागचिन्हावरून वजन किती आहे तें समजतें. या तराजूचा आंकड्यास अनुक्रमानें १, २, ३ इत्यादि शेरांचीं वजनें टांगून तुलना होण्यासाठीं कडीचीं ठिकाणें कशीं असावीं हें समजलें असतां दांडीवर भागचिन्हें करितां येतील.

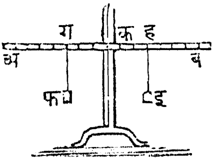
आकृति ६३.



उच्चालकाविषयींचे प्रयोग पाहण्याकरितां, एक सरळ लांकडाची दांडी घेऊन, तिजवर समभाग करावे, नंतर ती एका बारीक खिळीवर मध्यापासून टांगावी. त्यापासून हे पुढील कांहीं प्रयोग पाहतां येतील; त्यांत वजनें आणि टेंकूपासून त्यांचीं अंतरें यांत फेरफार केल्यानें त्या प्रयोगांत फेर करितां येतील हें शिकणारास उघड दिसेल.

जेव्हां दोन समान प्रेरणा एका सरळ उच्चालकावर लंबरूपानें लाविल्या असतात तेव्हां त्यांचें फळ, त्याच दोन प्रेरणा मिळून त्याचा मध्याशीं लाविल्या असतां जें फळ होतें, त्याबरोबर होतें. **अ ब** एक सरळ उच्चालक आहे, त्याचा **अ क** आणि **ब क** बाजू मध्यापासून बरोबर लांब आहेत, ह्मणून तो उच्चालक **क** बिंदूवर समतोल राहील. मनांत आण कीं, उच्चालकावर इंचांचे भाग आहेत, तर **क** मध्यापासून तीन इंचांवर साहा तोळ्यांचें **इ** वजन टांग, आणि दुसरें साहा तोळ्यांचें **फ** वजन **क** मध्याचा दुसऱ्या बाजूस तीन इंचांवर टांग; असें केल्यानें उच्चालक समतोल राहील हें सांगण्याचें प्रयोजन नाहीं; परंतु जर साहा तोळ्यांचा **इ** आणि **फ** वजनांचा ठिकाणीं तीन तीन तोळ्यांचीं **दोन** वजनें दोन बाजूंस बरोबर अंतरांवर टांगिलीं, तर परिणाम पूर्वीप्रमाणेंच होईल. आणि जर **ग** आणि **ह** स्थळें मध्यापासून **बरोबर** अंतरावर असलीं आणि त्यां-

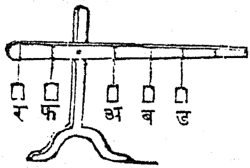
आकृति ६४.



पासून तीं वजनें कितीही लांब टांगिलीं तरीं त्यांचा परिणामांत कांहींच अंतर पडणार नाहीं.–

याचप्रमाणें जर टेंकूचा निरनिराळ्या बाजूंवर अनेक वजनें असलीं, आणि त्यांतून जीं वजनें उच्चालकास एक बाजूस दाबितात त्या सर्वांचा **मोमेंटांची** बेरीज, जीं वजनें दुसऱ्या बाजूस दाबितात, त्या सर्वांचा **मोमेंटांचे** बेरीजेबरोबर असेल, तर तुलना होईल. जसें ६५ व्या आकृतींत, मनांत आण कीं, टेंकूचा एका बाजूस तीन वजनें टांगिलीं आहेत; त्यांतील **अ** वजन दोन तोळे असून एक इंचावर आहे, दुसरें वजन **ब** तें तीन तोळ्यांचे दोन इंचांवर आहे, आणि तिसरें **ड** वजन चार तोळ्यांचें तें तीन इंच अंतरावर आहे, तर.

आकृति ६५.



अ वजनाचा मोमेंट २×१ अथवा २ आहे,
ब . . . . मोमेंट ३×२ अथवा ६ आहे,
आणि **ड** . . . . मोमेंट ४×३ अथवा १२ आहे,
यावरून सर्व मोमेंटांची बेरीज . . . . . . २० आहे,

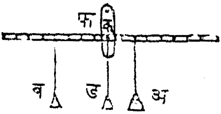
जर उच्चालकाचा दुसऱ्या बाजूस दोन वजनें टांगिलीं आहेत, ह्मणजे **र** वजन आठ तोळ्यांचे, मध्यापासून दोन इंच अंतरावर आहे, आणि **फ** वजन चार तोळ्यांचें असून एक इंच अंतरावर आहे; तर,

र वजनाचा मोमेंट ८×२ अथवा १६ आहे,
फ वजनाचा मोमेंट ४×१ अथवा ४ आहे,
२०

यावरून प्रत्येक पक्षीं मोमेंटांची बेरीज सारिखी आहे, ह्मणून उच्चालक स्थिर राहील.

मनांत आण कीं उच्चालकाचा एका बाजूस क मध्यापासून दोन इंचांवर साहा तोळ्यांचें अ वजन टांगिलें आहे, आकृति ६६ वी पाहा, तर तीन तीन तोळ्यांचीं ब, ड, अशीं दोन वजनें दुसऱ्या बाजूस मध्यापासून दोन इंचांवर फ स्थळीं टांगिलीं असतां तुलना होईल, परंतु

आकृति ६६.



जर या दोन वजनांतून प्रत्येक वजन फ स्थळापासून दोन इंच उलट्या दिशेस सारिलें, तर ड वजन क मध्याशीं येईल, आणि उच्चालकावर त्याचा व्यापार चालणार नाहीं, आगि एकटें ब वजन अ वजनास तोलून धरील; कारण ब चें वजन तीन तोळे आहे, आणि तें मध्यापासून चार इंच अंतरावर आहे, ह्मणून त्याचा मोमेंट १२ आहे, जसें (४×३=१२), आणि तो, अ चा मोमेंट, अथवा साहा तोळे आणि त्यांचें अंतर दोन इंच, यांचा गुणाकाराबरोबर आहे.

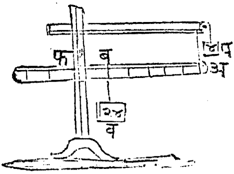
वरचा उदाहरणांपासून हें स्पष्ट दिसतें कीं मध्याचा प्रत्येक बाजूवरील वजनातील तोळे आणि त्यांचीं अंतरें यांचे गुणाकार बरोबर असतील, तर उच्चालक समतोल राहील. यापासून सरळ उच्चालकाचा हा साधारण

धर्म सिद्ध होतो. जर एका सरळ उच्चालकाचा बाजूवर दोन वजनें लंबरूपानें लागू होऊन त्यास विरुद्ध दिशेंत फिरवितात, आणि जर प्रत्येक बाजूवरील **वजनें** आणि त्यांचीं **अंतरें** यांचा दर्शक अंकांचे गुणाकार बरोबर असतील, तर एक वजन दुसऱ्यास तोलील.

दुसऱ्या प्रकारचा उच्चालक.

दुसऱ्या प्रकारचा उच्चालकांत टेंकू आणि उच्चालकशक्ति यांचामध्यें वजन असतें. बाजूवरील आकृतींत उच्चालकाची लांब बाजू **अ** पासून **फ** पर्यंत आहे; तोंकडी बाजू **ब** पासून **फ** पर्यंत आहे; **व** उचलायाचें वजन आहे, आणि **प** शक्ति आहे. पहिल्या प्रकारचा उच्चालकांत जसा नफा होतो, त्यासारिखें टेंकू आणि वजन यांचा मधल्या अंतरापेक्षां, टेंकू आणि शक्ति यांचें अंतर जसें अधिक असेल, तसा यांत नफा होईल. जसें उच्चालकशक्ति **प** जर चार तोळे असून टेंकूपासून साहा इंचांवर असेल, तर तिचा योगानें एक इंच अंतरावरील चोवीस तोळ्यांचें वजन तोलितां येईल. कारण दोहोंपक्षीं मोमेंट सारिखेच होतात, ह्मणजे (४×६=२४) आणि (२४×१=२४), जर **फ** आणि **अ** यांचा बरोबर मध्यभागीं **व** वजन असलें,

आकृति ६७.



तर त्याचा अर्धें वजनास फ टेंकूपासून आधार मिळेल, आणि बाकीचे अर्ध्यास प शक्ति तोलून धरील; परंतु या पक्षीं शक्ति चार तोळ्यांचा ठिकाणीं बारा तोळ्याची लागेल; कोणतेंही वजन फ आणि अ यांचा बरोबर मध्यभागीं असल्यास, त्यास तोलून धरण्यास त्याचा निमें वजन प स्थळीं असावें. चार तोळ्यांची प उच्चालक-शक्ति तिचा वरील चाकावरून लागू होते, ह्मणून त्या चांकाचा आंसावर तिचा दुप्पट अथवा आठ तोळ्यांचा भार पडेल; ही गोष्ट कप्पीचें लक्षण सांगते वेळेस दाखवितां येईल; जर फ टेंकूवर किती भार पडतो हें जाणावयाचें असेल, तर २४ वजनांतून ४ शक्ति वजा करावी ह्मणजे बाकी २० इच्छिलें उत्तर येईल; यावरून असें निघतें कीं, टेंकू आणि चाकाचा आंस यांवरील एकंदर भार २८ आहे, आणि तो वजन आणि शक्ति यांचा बरोबर आहे.–

दोन मनुष्यें काठीस ओझें टांगून नेतात हें या प्रकारचा उच्चालकाचें प्रसिद्ध उदाहरण आहे; जसें नालकी, पालखी अथवा दोन नवघण्ये काठीस ओझें टांगून नेतात तें. या उदाहरणांस आधार एकच आहे, कारण पुढील किंवा मागील मनुष्य टेंकूस्थानीं कल्पून बाकीचा दुसरा मनुष्य शक्तीचे ठिकाणीं आहे असें मानावें. जर ओझें काठीचा मध्यभागीं असलें तर प्रत्येक मनुष्यावर बरोबर अर्धा भार पडेल; परंतु जर तें एकापेक्षां दुसऱ्याचा जवळ असलें तर, ज्याचा खांद्यावर लांब टोंक असतें त्यापेक्षां, ज्याचा खांद्यावर तोंकडें टोंक असतें, त्यास अधिक भार

उचलावा लागेल. मनांत आण कीं, ओझ्याचें वजन तीन मण आहे; आणि काठीवर ज्या ठिकाणीं तें ओझें टांगिलें आहे, तें ठिकाण पहिल्याचा खांद्यापासून ३ फुटांवर, आणि दुसऱ्याचा खांद्यापासून ६ फुटांवर आहे; तर दुसऱ्यास जितका भार सोसावा लागेल, त्याचे दुप्पट भार पहिल्यास सोसावा लागेल; ह्मणजे पहिल्यास २ मण उचलावे लागतील, आणि दुसऱ्यास १ मण उचलावा लागेल; कारण २ आणि ३ यांचा गुणाकार, १ आणि ६ यांचा गुणाकाराबरोबर आहे.

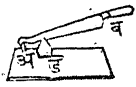
मोठा सामानाचा गठ्ठा उचलायाचे वेळेस एक लांब उचालक घेऊन त्याचें एक टोंक जमीनीवर ठेवून दुसरें हातानें वर उचलितात, तें या उचालकाचें दुसरें उदाहरण आहे. त्याची बाजूवर आकृति आहे; या ६८ वे आकृतींत जमीन हा टेंकू, हाताचें जोर ही शक्ति, आणि गठ्या हें वजन आहे.

आकृति ६८.



आंबे, मुळ्या इत्यादि पदार्थ चिरायाची विळी या प्रकारचा उचालक आहे, त्यांतील अ सांधा टेंकू आहे, (६९ वेआकृतींत पाहा), ब मुठीजवळ शक्ति लावितात, आणि कापण्याचा पदार्थ ड तो वजन किंवा प्रतिबंध आहे.

आकृति ६९.



दरवाजा आपल्या बिजागऱ्यांवर फिरतो तोही या प्रकारचा उचालक आहे. त्यांत दरवाजा हें वजन, बिजागरें हा टेंकू, आणि मनुष्य त्यास हातानें लावितो किंवा

उघडितो ती शक्ति आहे. आणि टेंकूपासून शक्ति जितकी लांब असेल, तितकें वजन सहज उचालितां येईल असें पूर्वी सांगितलें, ह्मणून मोठा दरवाजा रीतीप्रमाणें उघडिला असतां, जसा उघडितां येतो, त्याप्रमाणें जर बिजागऱ्याचा अगदीं जवळ नेट देऊन उघडायास यत्न केला, तर मोठा श्रम पडेल. दरवाजाचा फटींत बोट सांपडलें असतां बळकट चेंचतें याचें कारण वरचा गोष्टीचा विचार केला असतां समजेल; कारण टेंकूचा जवळ जो प्रतिबंध अथवा वजन ठेविलें असतें त्यावर उचालकाचा योगानें दाराचा वेगाघात लागू होतो, आणि त्यामुळें अशी गोष्ट घडते.—

गलबताचें वल्हें, सुकाण आणि मोडविळी, एकपाताचा अडकित्या हे पदार्थ या जातीचे उचालक आहेत असें ठरवितां येईल. जेव्हां मनुष्य होडी चालवितो, तेव्हां पाणी हें टेंकूस्थानीं होतें, जो मनुष्य वल्हें मारितो ती शक्ति, आणि होडी हें वजन होतें. सुपारी इत्यादि फोडायाचा अडकित्या दुसऱ्या प्रकारचा दुहेरी उचालक आहे; त्यांत त्याचा दोन अवयवांस जोडणारा सांधा टेंकू आहे, जें फळ फोडायाचें तें वजन आणि त्याचा दोन दांड्यांस जे हात एकत्र करितात ती शक्ति आहे.—

पुनः जर गाडीस दोन बैल जोडायाचे असतील, आणि जर त्यांतून एक दुसऱ्यापेक्षां बळकट असेल, तर दांड्यांस बांधण्याचें जोकडाचें ठिकाण असें योजावें कीं, दुसऱ्यापेक्षां पहिला जितका बळकट आहे, तितकें तें ठिकाण पहिल्या बैलाचा जवळ येईल, आणि असें केल्याने

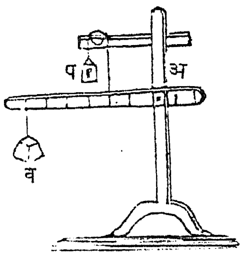
प्रत्येकास त्याचा त्याचा सामर्थ्याप्रमाणें ओझें ओढावें लागेल.–

एका चाकाचा गाडीचा कल्पनेस आधार या जातीचा उच्चालक आहे. त्यांत चाकाचा आंस टेंकूस्थानीं कल्पितां येईल, गाडींत जो पदार्थ असतो तें वजन, आणि जो मनुष्य गाडीचे दांडे धरून उचलितो ती शक्ति. त्या गाडींत ओझें जितकें चाकाजवळ असेल, तितकी सहज गाडी उचलितां येईल; कारण कीं, या पक्षीं टेंकूपासून वजनाचा स्थानापेक्षां, शक्तीचें स्थान अधिक दूर असतें.

तिसऱ्या प्रकारचा उच्चालक.

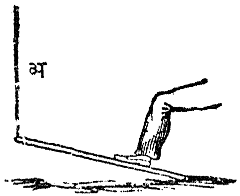
तिसऱ्या प्रकारचा उच्चालकांत टेंकू आाण वजन यांचामध्यें उच्चालकशक्ति असत्ये. बाजूवरील आकृतींत (आकृति ७०) **अ** टेंकू, **प** उच्चालकशक्ति, आणि **ब** वजन आहे; या पक्षीं उच्चालकशक्तीपेक्षां वजन टेंकूपासून अधिक दूर आहे, ह्मणून त्यास शक्तीपेक्षां अधिक स्थळांतून गमन करावें लागेल; यावरून वजनापेक्षां उच्चालकशक्ति अधिक असावी. आणि टेंकू आणि उच्चालकशक्ति यांचा अंतरापेक्षां, टेंकू आणि वजन यांचें अंतर जितकें अधिक असेल, तितकी उच्चालकशक्ति अधिक असावी,– ह्मणजे टेंकूपासून सहा इंच अंतराव-

आकृति ७०.



रील चार तोळ्यांचें वजन तोलून धरण्यासाठीं, टेंकूपासून दोन इंच अंतरावर, बारा तोळ्यांची उच्चालकशक्ति असली पाहिजे. या जातीचा उच्चालकापासून उच्चालकशक्तीचा तोटा होतो, ह्मणून जा पक्षीं जोराची गरज नसत्ये परंतु वेगाची मात्र गरज असत्ये, त्या पक्षाखेरीज या उच्चालकास क्वचित् कामांत आणितात. कांताऱ्याचा सांगडीस जो पाय देण्याकरितां तक्ता असतो, त्यापासून ही गोष्ट दिसून येत्ये; (आकृति ७१) ज़मीनीवर जें फळ्याचें एक टोंक असतें तो टेंकू; टेंकूपासून थोड्ये अंतरावर जो मनुष्याचा पाय दावितो ती **शक्ति**, आणि फळ्याचा दुसऱ्या टोंकास वजन अथवा प्रतिबंध असतो, आणि कारागीर जसा त्वरेने त्या फळ्यावर भार घालितो, त्याप्रमाणें **अ**, दोरी एका कडीस बांधिलेली असत्ये, तिचा योगानें तें फळें वर होतें.

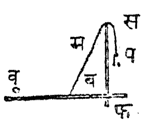
आकृति ७१.



जेव्हां उच्चालकाचा लांब बाजूस त्वरेनें पुष्कळ स्थळांतून चालायाचें असतें, तेव्हांच मात्र या उच्चालकाचा उपयोग करितात, यावरून वजनापेक्षां शक्ति अगत्य अधिक लागत्ये. शिडीचें एक टोंक भिंतीशीं टेंकून जेव्हां मनुष्य तीस उभी करितो, तें या उच्चालकाचें एक उदाहरण आहे. परंतु या जातीचे उच्चालकांचा उपयोग जिवांचा शरिरांत सुंदर रीतीनें दाखविला आहे; शरिरांत अवयवांचा चलनमध्याजवळ ईश्वराने स्नायूंचा

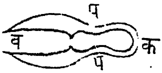
शक्तीची योजना केली आहे; तिचा योगानें जिवांस आपले अवयव मोठ्या त्वरेनें हलवितां येतात; आणि त्या स्नायूंत असें सामर्थ्य ठेविलें आहे, कीं जरी अवयवांचा शेवटीं मोठमोठीं वजनें ठेविलीं तरी तीं उचलितां येतील. उदाहरण, हातांनीं मोठें वजन उचलणें अथवा दांतांनीं कठीण वस्तू फोडणें, ही गोष्ट जनावरांस फार सोपी पडत्ये; अशा सर्व पक्षीं मोठे सामर्थ्याचीच गरज पडत्ये असें नाहीं, परंतु चपळता, सोपेपणा हीं असलीं पाहिजेत; याजविषयीं मनुष्याचा हात हें उदाहरण घेतों. त्यांत स्नायू खांद्यावरून येऊन, हाताची जसी लांबी असत्ये, त्याप्रमाणें सुमारें त्याचा एक दशांश इतक्या अंतरावर कोंपराखालीं त्यांचा शेवट होतो, त्याचा योगानें कांहीं ओझें वजन इत्यादि आपण उचलितों; आतां कोंपर हा चलनमध्य आहे, आणि त्या भोंवतीं हाताचा पुढील भाग फिरतो, आणि जितकें वजन उचलावयाचें असतें, त्याचा दसपट सामर्थ्य स्नायूंस खर्चावें लागतें. पहिल्यानें पाहिलें असतां ही गोष्ट तोट्याची आहे असें दिसेल. परंतु जितका शक्तिचा तोटा होतो तितका वेगाचा नफा होतो, आणि अशा योगानें जीं निरनिराळीं कृत्यें मनुष्याचा शरिरास करावीं लागतात, त्यांजविषयीं मनुष्याचें शरीर योग्य केलें आहे— बाजूवरील आकृतींत **फ** कोंपर अथवा टेंकू आहे, (आकृति ७२) **प** शक्ति **म** स्नायूचा योगानें, **स** खांद्यापासून लागू होत्ये, आणि कोंपरापुढील हाताचा भाग **ब** आहे आणि **व** हातावर

आकृति ७२.



ठेविलेलें वजन आहे. मनुष्याची इच्छा अथवा **प** शक्ति यांचा, योगानें **म** स्नायूचें किंचित् आकुंचन झाल्यावर कोंपर अथवा **फ** टेंकूचाजवळ हात लवतो, आणि जें वजन हातावर ठेविलें असतें त्यासुद्धां हात खांद्याजवळ येतो.

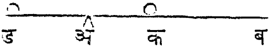
आकृति ७३.



मेंढे भादरायाचा कात्रींत तिसऱ्या प्रकारचे दोन उच्चालक असतात, (आकृति ७३) त्या दोहोंचा टेंकू **क** कमाण आहे; जो हात **प**, **प**, ठिकाणीं असतो ती शक्ति, आणि कापायाची लोंकर तो प्रतिबंध. चिमटा, सांडस इत्यादिकांचे दोन अवयव या जातीचे दोन उच्चालक आहेत.

दुसऱ्या आणि तिसऱ्या प्रकारचा उच्चालकांत जर एकादी शक्ति, एकाद्या वजनास तोलून धरित्ये तर, प्रत्येक पक्षीं टेंकूपासून त्यांचीं अंतरें व्युत्क्रमप्रमाणानें असतात. बाजूवरील आकृतींत जर, **अ क ब** रेघ दुसऱ्या प्रकारचा उच्चालक आहे अशी कल्पना करितों (आकृति ७४) आणि **ब** स्थळींची शक्ति, **क** स्थळींचा वजनास तोलून धरित्ये, तर

आकृति ७४.



शक्ति आणि वजन हीं एकमेकांस टेंकूपासून आपल्या अंतराचा व्युत्क्रमप्रमाणानें होतील; ह्मणजे **अ** टेंकूपासून ८ इंचांवरील दोन तोळ्यांचें **ब** वजन, टेंकूपासून २ इंचांवरील ८ तोळ्यांचा वजनास होईल, ह्मणजे जसें $(८\times२=२\times८)$. पुनः मनांत आण कीं उच्चालक एक बाजूस **ड** पर्यंत वाढविला, असा कीं **अ क** बरोबर **अ ड** होईल. समान पदार्थांस समान वेग दिले असतां त्यांचा

आंगीं समान शक्ति उत्पन्न होत्ये, असें मागें दाखविलें. परंतु **ड** वजन **क** वजनाबरोबर असून तें **अ** पासून **क** इतकेंच लांब आहे, ह्मणून **ब** प्रेरणा लागू झाली असतां, जा वेगानें **क** वजन चालेल, तसें तें **ड** वजनही चालेल; यावरून जी शक्ति **क** वजनास तोलून धरित्ये, तीच **ड** वजनास तोलून धरील. परंतु **ड अ ब** रेघ पहिल्या प्रकारचा उच्चालक आहे, त्यांत **अ ड** बाजूस जशी **अ ब** बाजू, तसें **ब** शक्तीस **ड** वजन आहे; **ब** शक्ति **क** वजनासही तोलून धरित्ये, त्यावरून **अ ड** बाजूस जशी **अ ब** बाजू, तशी **ब** शक्ति **क** वजनास होईल.

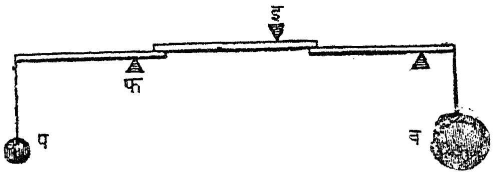
दुसऱ्या आणि तिसऱ्या प्रकारचा उच्चालकांतील भेद या पुढील उदाहरणावरून दाखवितां येईल. जर मागील आकृतींतील **अ ब** रेघ, एक अथवा अनेक प्रेरणांचा योगानें **अ** बिंदु अथवा टेंकूभोंवतीं फिरत्ये असें मानिलें, तर तो दुसऱ्या प्रकारचा उच्चालक आहे, त्यांत दोन विरुद्ध प्रेरणा **क** आणि **ब** स्थानीं लाविल्या आहेत, त्यांतील **क** स्थळींची प्रेरणा त्या रेघेस खालीं दाबित्ये, आणि **ब** स्थळींची वर उच्चलित्ये; ह्मणजे त्यांत **क** स्थळीं वजन आणि **ब** स्थळीं शक्ति आहे; आणि ह्या विरुद्ध प्रेरणा एकमेकांस तोलून धरण्यासाठीं त्यांतील प्रत्येकीचें परिमाण, **अ** पासून प्रत्येक अंतराशीं व्युत्क्रमपरिमाणांत असावें. परंतु जर हा पक्ष उलटा आहे अशी कल्पना केली, ह्मणजे **क** स्थळींची प्रेरणा ऊर्ध्व दिशेंत लागू होत्ये, आणि **ब** स्थळींची खालीं लागू होत्ये, तर तो तिसऱ्या प्रकारचा उच्चालक होतो, त्यांत शक्तीचें स्थान **क** आहे आणि वजनाचें

स्थान ब आहे. परंतु जरीं त्यांचीं स्थानें बदलिलीं, तरीं त्यांची तुलना होण्यासाठीं त्यांचीं परिमाणें पहिल्या सारिखींच असलीं पाहिजेत, ह्मणजे शक्ति आणि वजन हीं परस्परांस अ स्थिरबिंदू अथवा टेंकू यापासून आपल्या अंतरांचा व्युत्क्रमप्रमाणांत असलीं पाहिजेत.—

मिश्र उच्चालक.

एक उच्चालक दुसऱ्यावर लागू, अशा रीतीनें कित्येक उच्चालक एकत्र जोडून मिश्र उच्चालक होतो; लांब उच्चालक करण्यास फार कठीण, ह्मणून जेव्हां मोठ्ये शक्तीची गरज असत्ये, तेव्हां मिश्र उच्चालकाचा उपयोग करितात. पुढील मिश्र उच्चालकाची आकृति आहे (आकृति

आकृति ७५.



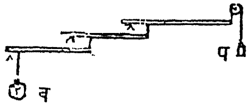
७५) तींत पाहिल्ये प्रकारचे तीन उच्चालक आहेत, आणि ते आपआपल्या टेंकूवर फिरतात. प स्थळीं लहानशी शक्ति लाविली असतां, ब स्थळींचें मोठें वजन सारितां यावें अथवा तोलून धरितां यावें हा या यंत्राचा उद्देश आहे. साध्ये उच्चालकाचे फळाची गणना करण्याची

जी रीति मागें सांगितली, तीच मिश्र उच्चालकासही लागेल, ह्मणजे, कोणत्येही उच्चालकावरील वजनास टेंकूपासून त्याचे अंतरानें गूण, नंतर उच्चालकशक्तीस त्या बिंदूपासून तिचे अंतरानें गुणावें, आणि जर हे दोन्हीं गुणाकार बरोबर येतील, तर वजन आणि शक्ति हीं परस्परांस तोलून धरितील. मिश्र उच्चालकांत जर अनुक्रमानें एक एक उच्चालकाचे फळाचा विचार केला, तर उच्चालकशक्तीचें फळ वजनावर कसें लागू होतें, तें दाखवितां येईल. **प** स्थळींची शक्ति इ स्थळीं ऊर्ध्व दिशेंत प्रेरणा करित्ये, आणि **प फ** बाजूस जशी इ **फ** बाजू, त्याप्रमाणानें इ स्थळींची प्रेरणा **प** शक्तीस होईल. जर तीनही उच्चालक सारख्या लांबीचे आहेत अशी कल्पना केली, ह्मणजे प्रत्येकाची लांब बाजू ८ इंच लांबीची, आणि तोंकडी बाजू २ इंच लांबीची तर **प** स्थळीं एक शेर ठेविला असतां तो इ जवळ ४ शेर तोलून धरील, कारण लांब बाजू ८ इंच आहे, आणि शक्ति एक शेर आहे यामुळें त्यांचा गुणाकार ८ होतो, आणि तोंकडी बाजू २ इंच आहे ह्मणून वरचा सारिखाच गुणाकार येण्यासाठीं त्यांस ४ शेरांनीं गुणिलें पाहिजे; यावरून दुसऱ्या उच्चालकाचा लांब बाजूस ४ शेरांची शक्ति आहे, आणि त्या बाजूची लांबी पूर्वीप्रमाणें ८ इंच ह्मणून त्यांचा गुणाकार ३२ येतो, त्या उच्चालकाची तोंकडी बाजू २ इंच आहे, ह्मणून वरचा इतका गुणाकार होण्यासाठीं १६ शेरांचें वजन असावें; यावरून पुनः १६ शेरांची शक्ति तिसऱ्या उच्चालकास लाविली आहे, त्याची लांब बाजू ८

इंच आहे, यावरून गुणाकार १६×८=१२८ आहे, आणि तोंकडी बाजू २ इंच आहे, ह्मणून वरचा इतकें उत्तर येण्यासाठीं तीस ६४ यांणीं गुणिलें पाहिजे; सारांश प स्थळीं १ शेर टांगिला असतां ब स्थळीं ६४ शेरांचें वजन तोलितां येईल.

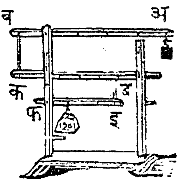
पहिल्या प्रकारचा तीन उच्चालकांपासून झालेल्या मिश्र उच्चालकाचें जें वर्णन वर सांगितलें, तें कोणत्याही प्रकारचा मिश्र उच्चालकास लावितां येईल. बाजूवरील आकृति दुसऱ्या प्रकारचा उच्चालकांची सांगड आहे, (आकृति ७६) जर त्यांतील तीन उच्चालकांचा लांब आणि तोंकड्या बाजू मागील उदाहरणाप्रमाणें बरोबर असल्या, तर १ शेराची शक्ति ६४ शेरांचे वजनास तोलून धरील.

आकृति ७६.



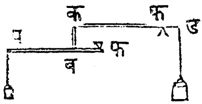
मिश्र उच्चालकांतील प्रत्येक उच्चालकाचें वजन आणि शक्ति यांचें प्रमाण वेगवेगळालें काढून, त्या अंकांचा गुणाकार करावा, ह्मणजे तो गुणाकार मिश्र उच्चालकाचें फळ होईल, असें मागील लेखावरून दिसण्यांत येईल. आणि कदाचित् मिश्र उच्चालकांतील शुद्ध उच्चालक भिन्न भिन्न जातीचे असले, तरी गणित करण्याचे रीतींतही कांहीं फेर पडणार नाहीं. बाजूवरील आकृति मिश्र उच्चालकाची आहे, तींत पहिल्या प्रकारचा एक उच्चालक आहे, आणि दुसऱ्या प्रकारचे दोन आहेत;

आकृति ७७.



(आकृति ७७) पहिला **अ ब** उच्चालक पहिल्या प्रकारचा आहे, आणि **क ड** आणि **इ फ** हे दुसऱ्या प्रकारचे आहेत. पहिल्यानें अशी कल्पना करावी कीं, **अ ब** उच्चालक ५ इंच लांब आहे, जर **अ** स्थळीं १ शेर असला तर तो **ब** स्थळीं ५ शेरांस तोलील; आणि हा उच्चालक दुसऱ्या **क ड** उच्चालकाशीं जोडिला आहे, ह्मणून **क** स्थळीं ५ शेरांची शक्ति होईल; आणि जर **क ड** उच्चालकाची लांबी ६ इंच असली, तर **क** स्थळींची ५ शेरांची शक्ति **ड** स्थळीं ३० शेरांस तोलून धरील, ह्मणजे (५×६=३०). हा दुसरा उच्चालक पूर्वींप्रमाणें तिसऱ्या **इ फ** उच्चालकाशीं जोडिला आहे, ह्मणून त्यावर **इ** स्थळीं ३० शेरांची शक्ति होईल, आणि त्याची लांबी ४ इंच आहे, ह्मणून वरचा शक्तीनें **फ** स्थळीं १२० शेरांचें वजन तोलितां येईल; जसें (४×३०=१२०). पदार्थ **वजनकरण्याचे यंत्रांत** मिश्र उच्चालकाचा उपयोग करितात, आणि दुसरीं वजन करण्याचीं यंत्रें जागा फार अडवितात, ह्मणून तीं जा ठिकाणीं नेण्यास अवघड, अशा ठिकाणीं जर मोठे मोठे पदार्थ वजन करायाचे असतील, तर मात्र यांचा उपयोग करितात. अशा जातीचीं वजन करायाचीं यंत्रें मुंबईंत पुष्कळ ठिकाणीं आहेत; त्यांतील एक पैजेचे बंगल्यांत आहे.

आकृति ७८.



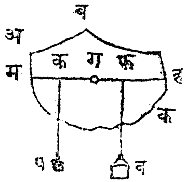
पहिल्या आणि दुसऱ्या प्रकारचे असे दोन उच्चालक एका दांडीने जोडितात, तें बाजूवरील आकृतींत दाखविलें आहे, (आकृति ७८) या पक्षीं **प** शक्तीचा योगानें जो **ब** प्रतिबंध **क** स्थळीं होतो, तो असा आहे कीं, **प** आणि **फ** टेंकूपासून त्याचें अंतर यांचा गुणाकार, आणि **ब** आणि **ब फ** यांचा गुणाकार हे दोन्ही बरोबर होतात; आणि जो प्रतिबंध **क** स्थळीं घडतो, त्यास शक्ति असें मानितों, तर तुलना होण्यासाठीं ती शक्ति आणि तिचें **क फ** अंतर यांचा गुणाकार, **ड फ** आणि **ड** वजन यांचा गुणाकाराबरोबर असावा.

गाडीचें चाक काढून घेण्याकरितां गाडी उचलण्यास जे उच्चालक घेतात ते या जातीचे असतात.—

वांकडा उच्चालक.

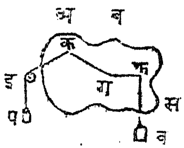
पूर्वी निरनिराळे जातीचे सरळ उच्चालकांविषयीं विचार झाला, आतां या यंत्राचा विस्तीर्ण रूपानें विचार करितों. तें यंत्र एक भरीव पदार्थ आहे, आणि त्यांत एक बसविलेला आंस आहे, त्याचे भोंवतीं तें फिरतें असें मानितों. ही गोष्ट सांगितली असतां वांकडा उच्चालक सहज समजेल.

आकृति ७९.



अ ब क, (आकृति ७९) एक भरींव वस्तूचें छिन्न आहे, आणि कागदाचे पातळीशीं लंबरूप असा एक बसविलेला **ग** आंस आहे, त्यावर तें छिन्न फिरतें. **ग** बिंदूतून **म ग ह** क्षितिमर्यादरूप रेघ काढिली आहे असें मनांत आण, आणि जें **व** वजन तोलून धरावयाचें तें **फ** स्थळीं लाव, आणि जी **प** शक्ति त्या वजनास तोलून धरणार तीस **क** स्थळीं टांग. असें केल्यावर जर शक्तींतील तोळे आणि **ग** मध्यापासून त्यांचें अंतर जितके इंच असेल त्यांचा गुणाकार, आणि वजनांतील तोळे, आणि त्याच बिंदूपासून त्यांचें अंतर जितके इंच असेल त्यांचा गुणाकार हे बरोबर असतील तर, शक्ति वजनास तोलून धरील. उदाहरण, जर **प** शक्ति ३ तोळ्यांची असून **ग** आंसापासून ६ इंच लांब असेल, तर ती शक्ति त्याच बिंदूपासून २ इंचांवर ९ तोळ्याचें वजन तोलून धरील. जसें (३×६=९×२).

आकृति ८०.



पुनः **फ** बिंदूपासून एक **व** वजन दोरीनें टांग, (आकृति ८०) तर हें वजन त्या पदार्थास **अ ब स** दिशेंत फिरवील. नंतर दुसरी एक दोरी **क** बिंदूशीं बांध, आणि तीस **इ** चाकावरून नेऊन तिचे टोंकास एक **प** वजन टांग, असें कीं तें त्या पदार्थास आंसावर **स ब अ** दिशेंत फिरवील आणि **व** वजनाचा विरुद्ध दिशेंत

फिरण्याचा जो झोंक आहे त्यास तोलून धरील. जर **व** आणि **प** वजनें किती आहेत हें ठरविलें, आणि मध्यापासून दोन्यांचीं **ग फ** आणि **ग क** लंबांतरें बरोबर मोजून काढिलीं, तर **प** वजनांतील तोळे आणि **ग क** रेघेंतील इंच यांचा गुणाकार, आणि **व** वजनांतील तोळे आणि **ग फ** रेघेंतील इंच यांचा गुणाकार हे दोनही बरोबर होतील.

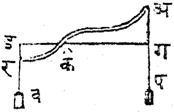
तोळे आणि इंच यांखेरीज दुसऱ्या कोणत्याही वजनाचा आणि अंतराचा जाती घेतां येतील, परंतु वजन आणि शक्ति या दोहोंस **सारख्या जाती** लावाव्या. वर लिहिलेल्या उदाहरणांपासून असा निश्चय होतो कीं, पदार्थास एका आंसाभोंवतें फिरविण्याचें जें एकाद्या प्रेरणेचें अथवा शक्तीचें सामर्थ्य असतें, त्याची गणना, मध्यापासून प्रेरणेचे दिशेस जो लंब होतो, त्या लंबानें ती प्रेरणा गुणिल्यानें होत्ये. अशा रीतीनें जो गुणाकार येतो, त्यास आंसाभोंवतीं त्या शक्तीचा **मोमेंट** ह्मणतात; जर कांहीं प्रमाणानें मोमेंट वाढविला किंवा कमी केला, तर पदार्थास आंसाभोंवतीं फिरविण्याचें जें प्रेरणेचें सामर्थ्य असतें, तें त्याच प्रमाणानें वाढतें किंवा कमी होतें हें उघड आहे. अथवा जा प्रेरणा किंवा शक्ति पदार्थास एका बाजूनें फिरवितात, त्यांचा मोमेंटांची बेरीज जर दुसऱ्या प्रेरणा अथवा शक्ति त्या पदार्थास दुसऱ्या बाजूस फिरवितात, त्यांचा मोमेंटांचा बेरिजेपेक्षां अधिक असेल, तर तो पदार्थ पहिल्या प्रेरणांचा दिशेंत फिरेल.

कोणत्याही सरळ अथवा वांकड्या उच्चालकाची शक्ति

आणि वजन यांचें यांत्रिक सामर्थ्य, जा दिशांत त्या प्रेरणा लागू होतात, त्यांस टेंकूपासून जी लंब रेघ होत्ये, तिचा योगानें नेहेमीं दाखवितां येतें.–

अ क र एक वांकडा उच्चालक आहे, तो **क** बिंदूवर नुसताच समतोल राहतो, (आकृति ८१) आणि त्याचा **अ** आणि **र** टोंकांस **अ प** आणि **र व** दिशेंत **प** आणि **व** अशा दोन प्रेरणा आहेत; जर **प** शक्तीचा दिशेस टेंकूपासून लंबरूप रेघ केली, ह्मणजे **क** पासून **ग** पर्यंत रेघ केली, आणि त्याचप्रमाणें वजनाचा दिशेस **क** पासून **ड** पर्यंत रेघ केली, तर या पक्षीं जें फळ होईल त्याची गणना सरळ उच्चालकाप्रमाणें करितां येईल,– उदाहरण, जर **क** पासून **ग** पर्यंत अंतर ६ इंच आहे, आणि **क** पासून **ड** पर्यंत अंतर ३ इंच आहे, तर २ तोळ्यांची शक्ति ४ तोळ्यांचा वजनास तोलून धरील; (६×२=३×४).

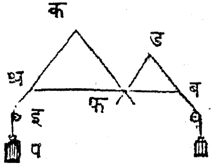
आकृति ८१.



यावरून जा दोन प्रेरणा एकाद्या वांकड्या उच्चालकास विरुद्ध दिशेंत फिरवितात, त्या प्रेरणांचे **मोमेंट** जर बरोबर होतील, तर त्या एकमेकास तोलितील.–

मागील उदाहरणांत, शक्ति आणि वजन हीं उच्चालकावर, (त्याचा लांबीशीं) लंबरूपानें लागू होतात, आणि परस्परांशीं समांतर आहेत असें मानिलें खरें, परंतु ही गोष्ट सर्वदां अशीच घडत्ये असें नाहीं, कित्येक पक्षीं शक्ति आणि वजन हीं तिर्कस लागू होतात; **अ ब** एक उच्चालक आहे, (आकृति ८२), त्याचा टेंकू **फ** आहे,

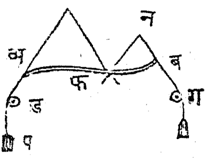
आकृति ८२.



आणि शक्ति अ इ दिशेंत उच्चालकावर तिर्कस लागू होते, आणि वजन ब स दिशेंत लागू होतें. या उच्चालकाचा सामर्थ्याची गणना करण्यासाठीं, मागील उदाहरणाप्रमाणें रेघा काढाव्या. याजकरितां जर इ अ, स ब रेघा वाढविल्या आणि टेंकूपासून या रेघांस क फ आणि फ ड लंब काढिले तर, शक्तीस क फ रेघेनें गुणिलें असतां गुणाकार शक्तीचा मोमेंट होईल, आणि वजनास फ ड रेघेनें गुणिलें असतां गुणाकार त्याचा मोमेंट होईल; जर प ४ तोळे, आणि क फ रेघ ६ इंच, आणि ब ८ तोळे, आणि फ ड रेघ ३ इंच असेल, तर तुलना होईल, कारण (४×६=८×३.)

पुढील आकृतींत वर सांगितल्याप्रमाणें शक्ति आणि वजन हीं उच्चालकावर तिर्कस लागू होतात, तथापि वरचा सारिखा हा उच्चालक सरळ नाहीं, वांकडा आहे.

आकृति ८३.

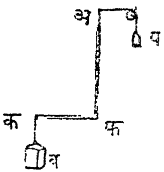


उच्चालक जरी वांकडा आहे, तरी गणण्याचा रीतींत कांहीं फेर पडत नाहीं, यावरून (८२ व्या आकृतीप्रमाणें) या उच्चालकाचा सामर्थ्याची गणना करितां येईल. अ ड रेघ वाढीव आणि फ बिंदूपासून त्या रेघेवर लंब कर, तो लंब उच्चालकाची लांब बाजू होईल, त्याचप्रमाणें ग ब रेघ वाढवून फ पासून तिजवर लंब केला असतां तो लंब तोंकडी बाजू होईल; नंतर

शक्ति आणि वजन यांचे मोमेंट मागील उदाहरणाप्रमाणें काढावे.—

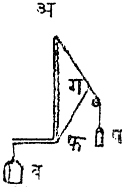
कधीं कधीं उच्चालक इतका वांकडा असतो कीं उच्चालकाचा बाजू एकमेकावर लंब असतात; आणि **फ** टेंकू त्यांचे काटकोनाचे कोनबिंदूंत असतो, (आकृति ८४), अशा उच्चालकास काटकोनउच्चालक ह्मणतात. त्यांत **व** वजन **फ क** तोकड्या बाजूस टांगिलें असतें, आणि **प** शक्ति **अ फ** लांब बाजूपासून टांगिली असत्ये; या पक्षीं **प** शक्तीला **अ फ** नें गुणिलें असतां शक्तीचा मोमेंट येतो, आणि **व** वजनास **फ क** नें गुणिलें असतां वजनाचा मोमेंट होतो; जर हे मोमेंट बरोबर असतील, तर तुलना होईल. शक्ति लंबरूपानें टेंकूवर लागू होत्ये असें न मानितां, पुढील आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें तिर्कस लागू होत्ये,

आकृति ८४.



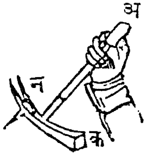
(आकृति ८५) अशी कल्पना केली, तर अशा उच्चालकाचा सामर्थ्याचा गणण्याची रीति ८३ व्या आकृतीप्रमाणेंच आहे. या पक्षीं शक्तीचा **अ प** दिशेस टेंकूपासून एक लंब केला पाहिजे, तो लंब उच्चालकाची खरी बाजू होईल; असें **व** वजन ५ शेरांचें असून टेंकूपासून एक फुटीवर आहे असें मान, तर **ग फ** रेघ ५ फुटी आणि **प** १ शेर असल्यास शक्ति आणि वजन हीं एकमेकांस तोलितील.

आकृति ८५.



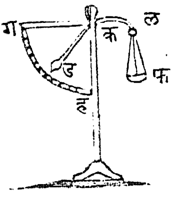
पाण्याचा लहान बंबाचा दांडा या जातीचें उदाहरण आहे, त्यांत त्या दांड्याचे शेवटास जो मनुष्य आपला भार पाणी उडविण्याकरितां घालितो ती शक्ति, वर उच्चलावयाचें पाणी आणि दांड्याचें घर्षण हा प्रतिबंध, आणि जो दांड्याचा सांधा तो टेंकू असतो.

आकृति ८६.



जेव्हां हातोडा खिळा काढायास घेतात, तेव्हां तो या प्रकारचा उच्चालक होतो; त्यांत जा **क** टोंकावर हातोडा टेंकला असतो, तो **क** बिंदु टेंकू आहे, (आकृति ८६) आणि शक्ति, हातोड्याचा दांड्याचे शेवटास **अ** जवळ लावितात आणि खिळ्याचा बाहेर येण्यास जो प्रतिबंध तें वजन.

आकृति ८७.



बाजूवरील आकृतींत जें यंत्र दाखविलें आहे, त्यास **वाकडा उच्चालकरूप तराजू** ह्मणतात, (आकृति ८७), त्यांत वांकड्या उच्चालकाची बाजू **ल** आहे, त्यापासून वजन करावयाचे पदार्थ ठेवण्याकरितां एक **फ** परडें टांगलें आहे; दुसऱ्या **क ड** बाजूचा शेवटास एक जड गोळा बशिवलेला आहे, तो विभागिलेल्या **ग ह** कौंसावरून फिरतो. जेव्हां **फ** परड्यांत एखादें वजन ठेवावें, तेव्हां त्याचा योगानें तो गोळा कौंसावरून वर चढेल हें उघड आहे. असें असतां जेव्हां तो गोळा परड्यांतील वजनास तोलून धरील अशा ठिकाणीं येतो, तेव्हां त्या गोळ्यासमोर कौंसावर जो भाग येतो, तितकें त्या पदा-

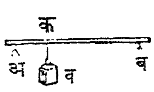
र्थाचें वजन आहे असें समजतें. प्रत्यक्ष अनुभवावरून, अथवा गणितानें कांहीं वजनाचीं ठिकाणें ठरवितां येतात; तीं त्या कौंसावर मांडिल्यावर फ परड्यांतील पदार्थाचें वजन किती आहे तें ड टोंक कौंसावर दाखवील.

मागें सांगितलेल्या सर्व उदाहरणांवरून असें लक्षांत येईल कीं उच्चालकाचा आकार कसाही असो, आणि प्रेरणा कशीही तिर्कस लागू झालेली असली, तथापि मनामध्यें प्रेरणेचा दिशेस टेंकूपासून लंब काढून, त्यावरून गणित केलें असतां, उच्चालकाचा सामर्थ्याचा निर्णय करितां येईल.

येथपावेतों निरनिराळे जातीचे उच्चालकांचा विचार झाला, आतां हा अध्याय पुरा करण्याचे पूर्वीं दोन आधारांवर एक बहाल ठेविलें असतां काय परिणाम होतो यांचा विचार करितों.—

जेव्हां एक बहाल, अ ब अशा दोन टेंकूंवर राहतें, आणि कांहीं वजन त्याचामध्यें कोठें तरी क जवळ टांगिलें असतें, (आकृति ८८), तेव्हां जा तऱ्हेनें या वजनाचा भार त्या दोन टेंकूंवर पडतो, त्याची गणना मागील लिहिलेल्या कारणावरून करितां येईल. जर ब आधारावरील भार शक्ति असें मानिलें आणि ती शक्ति व वजनास दुसऱ्या प्रकारचा ब अ उच्चालकाचा योगानें उचलून धरित्ये असें मानिलें, तर शक्ति आणि उच्चालकाची ब अ सर्व लांबी यांचा गुणाकार, वजन आणि क अ तोंकडी बाजू यांचा

आकृति ८८.



गुणाकाराबरोबर होईल. जर अ ब उच्चालकाचा एक तृतीयांश अ क आणि दोन तृतीयांश क ब असेल, तर ब वर सर्व वजनाचा एक तृतीयांश भार पडेल, आणि अ वर बाकीचे दोन तृतीयांशांचा भार पडेल. या उदाहरणापासून हें उघड होतें कीं, जर ब आणि अ यांचा बरोबर मध्यभागीं तें वजन टांगिलें, तर प्रत्येक आधारावर त्या वजनाचा निमे भार पडेल.

अध्याय ८.

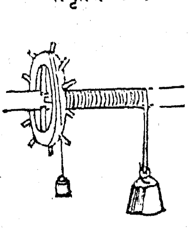
आंसास खिळलेलें चाक.

पदार्थास चलन देण्याचा उच्चालकाचा व्यापार थोडा थोडा आणि विसांव्यानें घडतो असें पूर्वी दाखविलें. ९८ व्या आकृतींत वजन **व** पासून **क** पर्यंत चढल्या नंतर तीच कृति पुनः करण्यासाठीं, उच्चालकास पुनः आपल्या पूर्व स्थितीवर यावें लागतें. आणि त्याचा या परत येण्याचा काळांत, वजन दुसऱ्या कांहीं उपायानें उचलून धरिलें पाहिजे. जेव्हां लहान शक्तीनें मोठें वजन थोड्या स्थळांतून उचलावयाचें असतें, तेव्हां मात्र उच्चालकाचा उपयोग करितात, आणि अशाच प्रसंगीं त्यापासून इच्छिलेलें फळ उत्पन्न होतें.

उच्चालकाचा व्यापार हवा तितका वाढवितां यावा, आणि तो अखंड व्हावा, याकरितां **आंसास खिळलेलें चाक** ही एक योजना आहे; त्यांत एका चाकास आंस खिळलेला असतो, असा कीं तीं दोनही एकदांच फिरावीं, त्यांत शक्ति चाकाचा परिघाशीं लावितात, आणि जें वजन उचलावयाचें असतें तें एका दोरास बांधलेलें असतें आणि तो दोर आंसाभोंवतीं गुंडाळतो. या यंत्राचा उपयोग पुढील रीतीनें करितात; आंसाचीं दोन टोंकें आडवीं ठेविलीं असतात, अशीं कीं चाक आणि आंस यांचा जो साधारण आंस त्याभोंवतीं तें सर्व यंत्र सहज फिरावें. कांहीं प्रेरणेनें चाक फिरवितात आणि त्याचा योगानें

आंसही फिरतो; एक दोर चाकास कोठें तरीं बांधलेला असून तो चाकावर गुंडाळिलेला असतो, त्याचा योगानें वरची गोष्ट घडत्ये, दुसरा एक दोर आंसास बांधिलेला असतो आणि जेव्हां चाकाबरोबर आंस फिरतो तेव्हां त्याभोंवता तो गुंडाळतो. जो आंसाचा दोर खालीं लोंबत असतो, त्यास वजन टांगितात; आणि चाकाशीं लाविलेली शक्ति, चाकास व आंसास फिरवित्ये, ह्मणून आंसाचा दोरानें वजन वर येतें. यंत्राचा या वर्णनावरून असें लक्षांत येईल, कीं त्यावर दोन विरुद्ध प्रेरणा आहेत, आणि त्या एकमेकास विरुद्ध अशा रीतीनें लागू आहेत, त्यांतील एक प्रेरणा वजन आहे, ती यंत्रास एक बाजूनें फिरवित्ये, आणि दुसरी प्रेरणा शक्ति आहे, ती त्यास दुसऱ्या बाजूस फिरवित्ये. या दोन प्रेरणा साधारण आंसापासून निरनिराळ्या अंतरांवरून लागू होतात; आंसाचा त्रिज्येइतक्या अंतरावरून वजन लागू होतें, आणि चाकाचा त्रिज्येइतके अंतरावरून शक्ति लागू होत्ये. बाजूवरील (८९ व्या आकृतींत) एक चाक आणि त्यास बसविलेला आंस आहे, आणि आंसाबरोबर तें चाक फिरतें; जर चाकावरचा दोरास हिसका देऊन चाक एक वेळा फिरविलें, तर चाकाचा

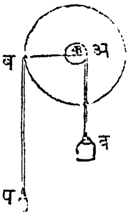
आकृति ८९.



परिघाइतका दोर सुटा होईल हें उघड आहे; परंतु चाकाचा एक वेढ्याबरोबर आंसाचाही एक वेढा होतो; यामुळें ज्या दोरास वजन टांगिलें असतें, तो दोर आंसा-

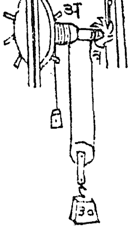
भोंवता एक वेळ गुंडाळतो, आणि तेणेंकरून आंसाचा परिघ जितका असेल तितकें वजन वर येतें. यावरून चाकाचा परिघास जसा आंसाचा परिघ प्रमाण आहे, तसा शक्तीचा वेग वजनाचा वेगास प्रमाण होईल. चाक आणि आंस यांमधील प्रमाणाइतकें, जर शक्ति आणि वजन यांतील प्रमाण असेल, तर हें यंत्र समतोल राहील; यावरून असें दिसतें कीं, चाकाचा व्यास आणि आंसाचा व्यास यांमध्यें जें प्रमाण असतें, तें या यंत्राची शक्ति दाखवितें. जसें, चाकाचा व्यास १२ इंच आणि आंसाचा व्यास १ इंच आहे असें मनांत आण; तर १ तोळ्याची शक्ति चाकास लाविली असतां, आंसावर १२ तोळ्यांचा वजनास तोलून धरील; आणि याहून किंचित् अधिक प्रेरणा लागू केली असतां, आंसासहित चाक फिरेल आणि वजन वर येईल. आंसास खिळलेलें चाक एक सततवर्ती उच्चालक आहे. ९० वी आकृति वरचा यंत्राचें छिन्न आहे, आणि त्याचा व्यापार उच्चालकासारिखा कसा होतो हें दाखविलें. यंत्राचा मध्यांतून अ पासून ब पर्यंत जी रेघ जात्ये, तो उच्चालक आहे आणि त्याचा मध्य क आहे; अ व दोरास टांगिलेलें व वजन, आंसाचा अ क त्रिज्येइतके अंतरावर लावलें आहे; ब प दोरास टांगिलेली प शक्ति चाकाचा ब क त्रिज्येचा अंतरावर लाविली आहे; या उच्चालकाचा लांब बाजू चाकाचा अर्धव्यासाबरोबर आहे, आणि तोंकडी बाजू आंसाचा अर्धव्यासाबरोबर आहे;

आकृति ९०.



यामुळें उच्चालकाचा आधारावरून, वजन आणि टेंकूपासून त्याचें अंतर (ह्मणजे आंसाचा अर्ध व्यास) यांचा गुणाकार करावा, नंतर शक्ति आणि टेंकूपासून तिचें अंतर (ह्मणजे चाकाचा अर्धव्यास) यांचाही गुणाकार करावा, आणि जर हे दोनही गुणाकार बरोबर असतील, तर शक्ति वजनास तोलून धरील. यापासून असें दिसतें कीं, चाक जितकें मोठें असेल आणि आंस जितका लहान असेल, तितकें यंत्राचें सामर्थ्य अधिक होईल; परंतु त्याच्च प्रमाणानें वजन हळू हळू वर चढेल. मागें लिहिल्यावरून असें दिसतें कीं, आंसास खिळलेल्ये चाकाची **यांत्रिकशक्ति** दोन रीतीनीं वाढवितां येत्ये; आंसाची त्रिज्या कमी केल्याने, अथवा चाकाची त्रिज्या वाढविल्यानें. व्यवहारांत जेथें या गोष्टीचा उपयोग करावा लागतो, तेथें जर शक्तीपेक्षां वजन अतिशय मोठें असलें, तर आंस बारिक करावा लागेल, आणि अशानें तो कदाचित् वजनाचा भार सहन करूं शकणार नाहीं, अथवा जर चाकाची त्रिज्या मोठी केली तर, तेणेंकरून शक्ति अतिशय मोठ्या स्थळांतून लागू करावी लागेल, ह्मणून यंत्र केवळ अवजड मात्र होईल; या दोनही अडचणी चुकविण्याकरितां आंसाचा निरनिराळ्या भागांस भिन्नभिन्न तऱ्हेची जाडी दिल्यानें यंत्राचा आंगीं हवी तितकी वळकटी असून तें अवजडही होत नाहीं, आणि त्याचा आंगीं यांत्रिकसामर्थ्यही अधिक

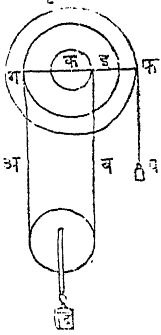
आकृति ९१.



येतें. ही युक्ति ९१ व्या आकृतींत दाखविली आहे, त्यांत **अ ब** आंसाचे दोन भाग आहेत, आणि एका भागाचा व्यास दुसऱ्याचा व्यासापेक्षां कमी आहे. एक दोर आंसाचा बारीक भागास गुंडाळून, त्याचें दुसरें टोंक एका चाकांतून नेऊन आंसाचा जाड भागास उलटें गुंडाळितात, उचलावयाचें वजन दोरांत ओंवलेल्या चाकास टांगलेलें असतें. नंतर दोर जाड्या भागाभोंवता गुंडाळला जावा अशा रीतीनें जेव्हां आंस फिरवावा, तेव्हां अर्थातच तो बारीक भागापासून उलगडतो, आणि चाकाचा एक फेरा झाला असतां, जाड्या भागाचा परिघाइतका दोर वर येतो आणि त्याच काळांत बारीक भागाचा परिघाइतका दोर खालीं जातो. यावरून यंत्राचा एका फेऱ्यापासून आंसाचा जाडा आणि बारीक भाग यांचे परिघांचा अंतराइतका वजन टांगिलेला दोर वर येतो.

वर सांगितलेल्या यंत्राचें छिन्न बाजूवरील (९२वी) आकृति आहे, त्यांत **ड** वजनास दोराचे **अ** आणि **ब** भाग उचलून धरितात, आणि त्यांतील प्रत्येक भाग **ड** वजनाचा अर्धानें ताणिला जातो; जसजसें यंत्र फिरतें त्याप्रमाणें आंसाचा बारीक भागापासून जाड्या भागाकडे दोर जातो; अति मोठ्या वर्तुळाभोंवतां जो दोर गुंडाळिला आहे, त्यास शक्ति लाविली असत्ये.— **फ** आणि **इ** प्रेरणा मध्याचे एकाच बाजूवर लागू होतात, ह्मणून त्या **ग** स्थळींचे प्रेरणेस

आकृति ९२.



तोलून धरितील हें उघड आहे; आणि इ वजनाचा भार दों-राचा अ आणि ब भागांनीं बरोबर उचलिला आहे, ह्मणून इ स्थळींची प्रेरणा ग जवळचा प्रेरणेबरोबर आहे, आणि जर क इ अंतर ग क अंतराबरोबर असेल, तर प शक्ति वां-चून नुसती इ प्रेरणा ग प्रेरणेस तोलून धरील; आतां उच्चा-लकाचा मूळकारणावरून प आणि इ यांचे मोमेंट ग चा मोमेंटाबरोबर असावे; यावरून जर प ला चाकाचा त्रिज्येनें गुणिलें, आणि अर्ध वजनास आंसाचा बारीक भागाचा त्रिज्येनें गुणून या दोन गुणाकारांची बेरीज घेतली, तर बाकीचें अर्धवजन आणि आंसाचा जाड्या भागाची त्रिज्या यांचा गुणाकार येईल. यावरून असें दिसतें कीं, चाकाची त्रिज्या हाच एक उच्चालक आहे, त्या त्रिज्येनें जर शक्तीस गुणिलें तर तो गुणाकार, अर्ध-वजनास आंसाचा जाडा आणि बारीक भाग यांचा त्रिज्यां-चा अंतरानें गुणून जो गुणाकार येईल, त्याचे बरोबर आहे.

मध्यापासून इ ब पेक्षां ग अ अधिक लांब आहे, ह्म-णून जर त्यास प्रतिबद्धक प्रेरणा फ स्थळीं नसती, तर ग अ जवळ टांगिलेलें वजन अधिक झालें असतें; आणि क आणि ग यांचें अतर, क आणि इ यांचें अंतरावजवळ जितकें अधिक येत जाईल, त्याप्रमाणें वजनास तोलून धरण्यास फ स्थळीं प्रेरणा कमी लागेल. जर या रच-नेस उच्चालक असें मानिलें, तर अर्धवजनास क ग अंत-रानें गुणिल्यानें क ग बाजूवरील मोमेंट येईल, आणि अर्धवजनास क इ नें गुणिलें असतां, क इ बाजूवरील

मोमेंट होईल, आणि हा मोमेंट **क ग** बाजूवरील मोमेंटाचा विरुद्ध आहे, **क इ** बाजूवरील मोमेंटापेक्षां **क ग** बाजूवरील मोमेंट अधिक आहे, ह्मणून त्या दोहोंचा अंतरास प्रतिबद्धक होण्यासाठीं **फ** स्थळीं कांहीं **प** प्रेरणा असावी. मनांत आण कीं, **क ग** ४ इंच, **क इ** २ इंच आणि **क फ** १० इंच, आणि **ड** वजन ४०० शेर आहे, यावरून प्रत्येक दोरीवर भार २०० शेरांचा आहे. उच्चालकाचा मूळकारणाप्रमाणें, **ड**चें अर्धवजन २०० शेर आणि **क** पासून त्याचें अंतर ४ इंच यांचा गुणाकार ह्मणजे ८००, हा **क ग** बाजूवरील **ग**चा मोमेंट आहे, आणि **क** इ बाजूवरील इ चा मोमेंट २००×३ अथवा ६०० आहे; यावरून त्या दोन मोमेंटांचें **अंतर** २०० आहे, त्यास **फ** स्थळींचा शक्तीनें तोलून धरिलें पाहिजे. **फ** स्थळीं किती वजन असावें तें काढण्यासाठीं, जा २०० शेरांस तोलून धरण्याचें आहे, त्यांस **क फ** अंतरानें भागावें; यापक्षीं तें अंतर १० इंच कल्पिलें आहे, ह्मणून २०० भागिले १०, तर भागाकार २० येतो; यावरून या यंत्राच्या योगानें प स्थळीं २० शेर लाविले असतां **ड** स्थळीं ४०० शेर तोलितां येतील.

कांहींपक्षीं शक्तीचा व्यापार वारंवार वंद करावा लागतो, तेव्हां वजन वर आल्यानें जो नफा झाला असतो तो तें खालीं गेल्यानें सर्व नाहींसा होतो; असें न होऊं देण्यासाठीं आंसास एक चाक बसविलेलें असतें, तें ९१ वाव्या आकृतींत दाखविलें आहे. त्या चाकास दांत असतात व ते एक बाजूस लवविलेले असतात. एक खुंटी

चाकाचा वरल्या बाजूस एका खिळ्यावर फिरे अशी बसविलेली असत्ये, ती चाकाचा दांत्यांत येऊन पडत्ये. जेव्हां आंस फिरतो तेव्हां हें दांत्यांचें चाकही त्याबरोबर फिरतें आणि ती खुंटीही त्या चाकाचा दांत्यांत पडत जात्ये, आणि जेव्हां शक्तीचा व्यापार बंद होतो, तेव्हां त्या चाकास परत फिरूं देत नाहीं. या युक्तीनें पूर्वीं झालेलें कार्य तसेंच ठेवून इच्छेस येईल तेव्हां शक्ति दूर करितां येत्ये.

आंसास खिळलेल्या चाकाचा वर लिहिलेल्या वर्णनावरून असें दृष्टीस येईल कीं, **वितुअल् विलोसिती** विषयीं जो नियम पूर्वीं सांगितला, तो जसा उच्चालकास लागू होतो, तसा या यंत्रासही लागू होतो; ह्मणून जर आंसास खिळलेल्या चाकावर दोन प्रेरणा एकमेकास तोलून धरितात, आणि जर सर्व यंत्र चालू आहे, तर लाविलेल्या वजनांचें जा स्थळांतून गमन घडतें, त्यांस त्या वजनांनीं गुणिलें असतां दोनही गुणाकार बरोबर होतील.

एक लहान वजन (आकृति ८९ पाहा,) चाकाचा परिघास टांगिलें आहे, तें आंसाचा परिघास टांगिलेल्या दुसऱ्या मोठ्या वजनास उचलून धरितें, असें मनांत आण, तर आंसाची त्रिज्या अथवा परीघ जसा चाकाचा त्रिज्येस अथवा परिघास आहे, तसें लहान वजन मोठ्या वजनास होईल; आंसास खिळलेलें चाक जर एकवार फिरविलें, तर चाकाचा परिघाइतक्या स्थळांतून लहान वजन खालीं जाईल, आणि त्याच काळांत आंसाचा परिघाइतक्या स्थळांतून मोठें वजन वर चढेल; आणि हीं स्थळें दोन

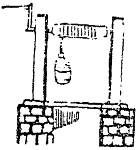
वजनांशीं **प्रमाणांत** आहेत, ह्मणून लहान वजन आणि त्याचा गमनाचें स्थळ (ह्मणजे चाकाचा परिघ) यांचा गुणाकार, मोठें वजन आणि त्याचा गमनाचें स्थल (ह्मणजे आंसाचा परिघ), यांचा गुणाकाराबरोबर होईल.

९१ व्या आकृतीप्रमाणें जेव्हां आंसाचा एक भाग दुसऱ्या भागापेक्षां जाड असतो, तेव्हां ही वरची गोष्ट लागू होत्ये. चाक एक वेळ फिरविलें असतां आंसाचा जाडा भाग **अ** आणि बारीक भाग **ब** हे दोनही त्याबरोबर फिरतात; आणि त्यासमयीं आंसाचा जाड्या भागाभोंवतीं दोराचें एक टोंक गुंडाळतें आणि लागलेंच दोराचें दुसरें टोंक आंसाचा बारीक भागापासून उलगडतें; असें झाल्यानें आंसाचा जाडे भागाचा परिघाइतकें दोराचें एक टोंक कमी होतें, आणि आंसांचा बारीक भागाचा परिघाइतकें दोराचें दुसरें टोंक लांब होतें; यावरून दोन आंसांचा परिघांचा अंतराइतक्या परिमाणानें सर्व दोर कमी होतो, आणि त्या अंतराचा अर्धाइतक्या स्थळांतून वजन वर येतें. यावरून असें ठरवितां येतें कीं चाकाचा त्रिज्येस जसें आंसाचा दोन त्रिज्यांचें अर्ध अंतर, अथवा चाकाचा त्रिज्येचे **दुपटीस** जसें आंसांचा त्रिज्यांचें अंतर, तसें **शक्तीचे** गमनस्थळास **वजनाचें** गमनस्थळ होईल; यामुळें शक्तीला तिचा गमनस्थळानें गुणून तो गुणाकार जर, वजन आणि त्याचें गमनस्थळ यांचा गुणाकाराबरोबर येईल, तर शक्ति वजनास तोलून धरील.

चाकास शक्ति लागू करण्याचा तऱ्हा अनेक आहेत; शक्तीची योजना चाकाचा द्वारानें आंसावर करावी ती

कधीं कधीं तशी न करितां, ९३ व्या आकृतीप्रमाणें आंसास एक लोखंडी दांडा बसवितात, तो उचालकाचें काम करितो, आणि त्याचा वाटोळ्या फिरण्यानें चाकाचें काम होतें. या यंत्रानें विहिरींतून पोहोऱ्यानें पाणी काढितात, विहीर खोल असल्यानें कधीं कधीं दोर आंसाभोंवतीं एक वेळेपेक्षां अधिक वेळा गुंडाळतो; अशा पक्षीं जेव्हां पोहोरा विहिरीचा तोंडाशीं येऊं लागतो, तेव्हां दांडा फिरविण्यास अधिक कठिण पडतें; कारण कीं, आंसाचा परिघापेक्षां चाकाचा परिघ जितका मोठा असेल, त्याप्रमाणें नफा होईल; ह्मणून एकवार सर्व आंसाभोंवतीं दोर गुंडाळिल्यावर, **दुसऱ्या वेळेस** दोर गुंडाळूं लागला असतां चाकचा परिघ आणि आंसाचा परिघ यांचें अंतर कमी होत जातें, आणि तेणेंकरून प्रतिक्षणीं दोराचा गुंडाळण्याचा आरंभ नव्यानें झाल्यावर यंत्राचा नफा कमी होत जातो.

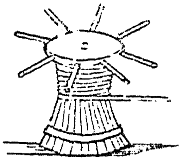
आकृति ९३.



कधीं कधीं चाकाचा परिघास सारख्या अंतरावर खुंट्या मारिलेल्या असतात (८९ आ० पाहा;) त्यांस हातांची शक्ति लावितात. शक्तीचा या जातीचा योजनेचें उदाहरण, मोठ्या गलबताचें सुकाण हलविण्याचें जें चाक असतें, त्यापासून चांगलें दृष्टीस पडतें, या चाकाचा आंस आणि पाणी काढावयाचा हातराहाटाचा आंस हे दोनही आडवे असतात, आणि मोठ्या गलबतावरील नांगर ओढण्याचा यंत्राचा आंस उभा असतो. त्या यंत्राचा अशा स्थितीपासून जो नफा होतो तो उघड आहे त्या यंत्राची

आकृति ९४ वी आहे. याचा आंसाभोंवते सारिख्या अंतरानें कित्येक उच्चालक बसविलेले असतात, त्यांतून प्रत्येकास एक किंवा दोन मनुष्य लावून ते त्या उच्चालकास वाटोळें फिरवितात; हे दांडे जसे फिरतात त्याप्रमाणें उभा आंसही त्यांचाबरोबर फिरतो, आणि तेणेंकरून दोर आंसाभोंवता गुंडाळून वजन जवळ येतें.

आकृति ९४.



या यंत्राचा उपयोग गलबताचे नागर उचलण्यांत मुख्यत्वेंकरून करितात. काम करायाचें नसतें तेव्हां दांडे काढून एकीकडे ठेवितात.

या यंत्राचे सामर्थ्याची गणना करित्येसमयीं, आंसांत खिळलेल्या चाकासारिखीं प्रमाणें घेतलीं पाहिजेत; जसें, चाकाचा त्रिज्येस (ह्मणजे या पक्षीं आंसाची अर्ध जाडी आणि दांड्यांचीं लांबी मिळून चाकाची त्रिज्या होत्ये) जशी आंसाची त्रिज्या, तसा एका दांड्याचा टोंकास एक मनुष्य आपली शक्ति लावून सर्व वजनाचा जो अंश उचलतो, त्यास त्या मनुष्याची शक्ति प्रमाण होईल.

मनांत आण कीं, २०,००० शेरांचे वजनाचा दगड उचलावयाचा आहे, आणि अशा जातीचीं दहायंत्रें त्या दगडाभोंवतीं ठेविलीं आहेत, आणि प्रत्येक यंत्रास दहा दांडे आहेत, त्यांस एक एक मनुष्य लाविला आहे. आंसाची त्रिज्या ६ इंच आणि दांडा $५\frac{१}{२}$ फुटी लांब, आणि मनुष्याचे जोर २०० शेरांबरोबर आहे असें मनांत आण.

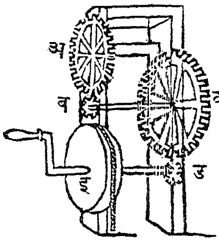
या पक्षीं दांड्याची लांबी ५$\frac{1}{2}$ फुटी आहे, तीस जर आंसाची त्रिज्या ६ इंच मिळविली, तर बेरीज ६ फुटी होईल, ती चाकाची त्रिज्या होईल. यावरून ६ इंच आंसाचा त्रिज्येस जशी ७२ इंच चाकाची त्रिज्या, ह्मणजे जसें १ एकास १२, तसें एका मनुष्याचे शक्तीस, त्याणें उचलिलेलें वजन होईल, यावरून जसें १ स १२, तसे २०० शेर एका मनुष्यानें उचलिलेल्या वजनास होतील, ह्मणजे २४०० शेरांस. सर्व वजन उचलावयासाठीं १० यंत्रें होतीं आणि प्रत्येकास दहा मनुष्यें होतीं, ह्मणून वर आलेल्या एक मनुष्याचा अंशास ह्मणजे २४०० शेरांस १०० नीं गुणिलें असतां गुणाकार २,४०,००० शेर होतो, तो उचलावयाचा वजनापेक्षां अतिशय मोठा आहे. **रोम** शहरांतील **सेंत पीतर** देवळाचा समोरचा भागांतील मोठी दिपमाळ, **इतली** देशचा कारागिर **डोमिनिको फोनताना** याणें वरचासारिखीं पुष्कळ यंत्रें एकत्र मिळवून, त्यांचा योगानें ती लथून सारिली, तिचें वजन सुमारें दहा लक्ष पौंड आहे.

आंसास खिळलेल्या चाकास लावलेल्या शक्तीपेक्षां जर वजन अतिशय मोठें असेल, तर कदाचित् त्याचा आंस मोडेल, अथवा तें उचलण्यासाठीं चाक मोठें अवजड करावें लागेल असें वर सांगितलें; यावरून जेव्हां मोठ्या शक्तीची गरज असत्ये, तेव्हां मिश्र उचालकाप्रमाणें, आंसास खिळलेल्या चाकांचे संयोग करितां येतात, आणि दोहों पक्षीं तुलनेचे नियम एकसारिखेच असतात.

मिश्र चक्ररूप यंत्रांत पहिल्या चाकाचा परिघास शक्ति

लाविलेली असत्ये, तिचें फळ चाकाचा योगानें पहिल्या आंसाचा परिघावर जातें. हा आंस वजनाचा भार सोशील असा जाड आणि वळकट केला असतो, आणि सोईस पडेल अशा तऱ्हेनें या आंसाचें चाक मोठें असतें, आणि त्याचा घेऱ्यास बाजूवरील आकृतीप्रमाणें दांत्ये असतात, (आ० ९५) हें चाक दुसऱ्या एका लहान चाकावर लागू असतें, त्यास **संयोगी चक्र** ह्मणतात; हें चक्र दुसऱ्या एका आंसास खिळलेलें असतें, आणि त्यास अशा तऱ्हेनें बसवितात कीं तें चाक व हें संयोगी चक्र हीं दोनही फिरूं लागलीं असतां परस्परांचे दांत्ये एकमेकास लागू व्हावे. या दुसऱ्या आंसाचा शेवटास एक मोठें चाक बसविलेलें असतें, आणि त्याचा धारेसही दांत्ये असतात; आणि या चाकाखालीं दुसरें एक संयोगी चक्र आंसास खिळवून बसवितात. या संयोगी चक्राचा आंसाचा दुसऱ्या बाजूस एक चाक असतें, त्यास सर्व यंत्र चालविणारी शक्ति लावितात. हीं सर्व चाकें बाजूवरील आकृतींत दाखविलीं आहेत. मोठीं चाकें आणि लहान संयोगी चक्रें यांचा या संयोगांत, सततवर्ती असा एक लांब उच्चालक, एका सततवर्ती लहान उच्चालकावर लागू होतो असें असतें; तेणेंकरून पुष्कळ यांत्रिक हित होतें. नुसत्या पहिल्या चाकाची त्रिज्या वाढविली असतां जो स्वार्थ झाला

आकृति ९५.



असता, तोच स्वार्थ या सर्व संयोगापासून होतो, आणि पुनः तो अति सुलभपणानें आणि अडचणीवांचून घडतो. अशा जातीचा यंत्रांत जितकीं चाकें असतात त्यांजवर लागू होणाऱ्या सर्व शक्तींचा गुणाकार केल्यानें आंसास खिळलेल्या चाकाचा शक्तीची गणना करितां येत्ये. निरनिराळ्या चाकांचे परिघ अथवा व्यास आणि त्यांचे त्यांचे आंसांचे परिघ अथवा व्यास यांतील जे प्रमाणांक असतात, त्यांवरून शक्तीची गणना होत्ये. उदाहरण, ४० शेरांचा शक्तीनें ४३२० शेरांचें वजन उचलावयाचें आहे असें मनांत आण, तर यापक्षीं त्यांचें प्रमाण १०८ यांस १ असें होईल. पुनः मनांत आण कीं आंसाचा व्यास ८ इंच आहे, आणि तो आंस मोडल्यावांचून वजनास उचलून धरी असा आहे. आतां जर केवळ साध्या यंत्राचा उपयोग केला, तर हें वजन उचलून धरण्यासाठीं ८ इंच व्यासाचा आंसास, ७२ फुटी ह्मणजे ८६४ इंच व्यासाचें चाक पाहिजे हें उघड आहे. कारण १०८ वजनास जर आंसाचा व्यास, ह्मणजे ८ इंच, यांणीं गुणिलें, तर गुणाकार ८६४ येतो; ह्मणून यांस तोलून धरण्यासाठीं चाकाचा व्यास ८६४ इंच असला पाहिजे, ह्मणजे ८६४ × १ (शक्ति) = ८६४. परंतु इतक्या मोठ्या चाकाचें यंत्र अवजड आणि चालविण्यास कठीण यामुळें चाकांचे संयोग कामांत आणले पाहिजेत.

जर शक्ति १ असून तिचा वेग २० असेल, आणि वजन २० असून त्याचा वेग १ असेल, तर शक्ति आणि वजन हीं परस्परांस तोलून धरितील असें मागें दाखविलें.

यावरून या मिश्र चाकाचा योगानें शक्ति इतकी वाढविली कीं, तिला तिचा वेगानें गुणिलें असतां तो गुणाकार, जर वजन आणि त्याचा वेग यांचा गुणाकाराबरोबर होईल, तर ती शक्ति वजनास उचलील. मागील आकृतींत वरचें चाक अ, त्याखालचें संयोगी चक्र ब, दुसरें मोठें चाक क, त्याचा खालचें संयोगी चक्र ड, आणि तिसरें मोठें चाक इ आहे असें मनांत आण. अ चाकाची त्रिज्या १२ इंच ह्मणजे व्यास २४ इंच; आणि त्याचा आंसाची त्रिज्या ४ इंच असें मनांत आण; जर अ चाकाचा परिघास शक्ति लागू केली, तर चाकाचा त्रिज्येस जशी आंसाची त्रिज्या, तसा शक्तीचा वेग वजनाचा वेगास होईल. ह्मणजे १२ स ४, अथवा ३ स १. आतां अशी कल्पना करावी कीं, ब संयोगी चक्राची त्रिज्या २ इंच आणि त्याचे दांत्ये १२ आणि अ चाकाचे दांत्ये ७२, यावरून त्यांचें प्रमाण १ स ६ असें होईल. पुनः क चाकाचा दांत्यांची संख्या आणि त्याची त्रिज्या अ चाकाप्रमाणेंच आहे असें मनांत आण. अ चाकाचा आंसास वजन टांगलें आहे असें मनांत आणून, आंसाचा परिघाचा वेग आणि चाकाचा परिघाचा वेग हे ३ स १ या प्रमाणानें होतील; कारण चाकाची त्रिज्या १२ इंच आणि आंसाची त्रिज्या ४ इंच आहे. जेव्हां अ चाकाचे दांत्ये फिरतात, तेव्हां ते ब संयोगी चक्राचा दांत्यांवर लागू होऊन त्यांसही आपल्याबरोबर फिरवितात. ह्मणजे वजनास तिप्पट वेगानें फिरवितात. ब संयोगी चक्र फिरूं लागलें ह्मणजे तें आपल्याबरोबर आपला आंस आणि क

चाक यांसही फिरवितें; आणि ६ स १ या प्रमाणानें क चाकाचा त्रिज्येस ब संयोगी चक्राची त्रिज्या आहे, ह्मणून ६ स १, या प्रमाणानें क चाकाचा परिघाचा वेग आणि यामुळें त्यास लावलेल्या शक्तीचा वेग, ब संयोगी चक्राचा वेगास होईल. परंतु वजनापेक्षां ब संयोगी चक्र तिप्पट जलद चालतें, ह्मणून क चाकावरचा शक्तीचा वेग ६ पट अधिक असावा; ह्मणजे तो वजनाचा वेगापेक्षां १८ पट अधिक असावा. आतां इ चाकावर शक्ति लागू आहे, असें मनांत आण; आणि अशी कल्पना करितों कीं, ड संयोगी चक्राची त्रिज्या आणि त्याचा दांत्यांची संख्या, ब संयोगी चक्राप्रमाणेंच आहेत, आणि इ चाकाची त्रिज्या क आणि अ चाकांचा त्रिज्यांबरोबरच आहे; क चाकाचे दांत्ये ड संयोगी चक्राचा दांत्यांवर लागू होऊन त्यास आपल्याच वेगानें फिरवितात, आणि तेणेंकरून इ चाक फिरतें; आणि चाकाचा त्रिज्येस जशी संयोगी चक्राची त्रिज्या, तसा इ चाकाचा वेग असतो, ह्मणजे या पक्षीं तो वेग ६ स १ असा असतो. वजनाचा वेगापेक्षां ड संयोगी चक्राचा वेग १८ पट अधिक आहे असें वर सांगितलें, आणि इ चाकाचा परिघावरील शक्तीचा वेग, वजनाचा वेगापेक्षां ६ पट अधिक आहे, ह्मणून ड चा वेगापेक्षांही ६ पट अधिक असावा, ह्मणजे ६×१८ यांस १ या प्रमाणानें इ शक्तीचा वेगास वजनाचा वेग असावा, ह्मणजे १०८ स, असा असावा; यावरून शक्तीचें परिमाण १ आहे, आणि तिचा वेग १०८ आहे; आणि वजनाचें परिमाण १०८ आहे, आणि त्याचा वेग १ आहे; ह्मणून

शक्ति आणि वजन यांचें मोमेंट बरोबर आहेत, यावरून तीं एकमेकास उचलून धरितील.

दांत्यांचा योगानें एक चाक दुसऱ्या चाकावर लागू होऊन, एका चाकाचें चलन दुसऱ्या चाकास एकसारिखें देतां यावें, ह्मणून दांत्ये असे कापिले पाहिजेत कीं, ते एकमेकावरून सहज जातील; दांत्ये करित्येसमयीं फार लक्ष ठेविलें पाहिजे, नाहीं तर ते एकावर एक घांसून मोडून जातील.

चाक आणि संयोगीक्रच यांचा योजनेंत, जा चाकाचा योगानें संयोगी चक्र फिरतें, त्यापेक्षां संयोगी चक्राचे फेरे अधिक होतात हें उघड आहे; चाकाशीं जोडिलेले संयोगी चक्राचे फेरे, चाकाचा फेऱ्यापेक्षां किती अधिक होतात, हें प्रत्येकाचा दांत्यांचा संख्येवरून समजतें. जसें, चाकाचे दांत्ये १००, आणि संयोगी चक्राचे दांत्ये १० आहेत, तर चाकाचा एक फेरा झाला असतां, संयोगी चक्राचे १० फेरे होतील. यावरून एकत्र चालणारें चाक आणि संयोगी चक्र या परस्परांचा फेऱ्यांचें प्रमाण, त्यांचा दांत्यांचा संख्यांचा उलट्या प्रमाणाबरोबर होईल.

कधीं कधीं कातड्याची वादी अथवा दोरी यांचा योगानें एका चाकाचें चलन दुसऱ्या चाकास देतात; या युक्तीपासून चाकांस एकमेकापासून हव्या तितक्या अंतरावर ठेवतां येतें, आणि तीं एकाच किंवा विरुद्ध दिशेंत फिरवितां येतात, हा एक मोठा नफा होतो; दोन चाकांस जोडणारी कातड्याची वादी जेव्हां फार लांब असत्ये, तेव्हां तिचा मध्यभागीं तिला कांहीं आधार नसतो,

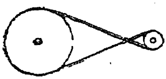
यामुळें चलनसमयीं ती फार झोंके खात्ये. वादीचा योगानें एका चाकापासून दुसऱ्या चाकास गति कशी द्यावी तें या पुढील ९६ व्या आकृतींत दाखविलें आहे; त्यांत दोनही चाकांचे व्यास एकसारिखेच आहेत. जी शक्ति एका चाकास लाविलेली असत्ये, तीच दुसऱ्यावर लागू होत्ये; आणि या पक्षीं तीं चाकें समान व्यासाचीं आहेत, ह्मणून, त्यांचे वेग समान होतील, आणि तीं एकाच बाजूनें फिरतील.

आकृति ९६.



जर दोन चाकांतून एकाचा व्यास दुसऱ्याचा व्यासापेक्षां अधिक असेल, तर मोठ्या चाकापेक्षां लहान चाक अधिक वेळा फिरेल. उदाहरण, जर मोठ्या चाकाचा व्यास ९ इंच आणि लहानाचा व्यास ३ इंच आहे, तर मोठ्याचा एक फेरा झाला असतां, लहानाचे तीन फेरे होतील.

आकृति ९७.

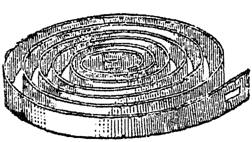


दोन चाकें निरनिराळ्या दिशेंत फिरतात, तें बाजूवरील ९७ व्या आकृतींत दाखविलें आहे; मोठ्या चाकापुढें कातड्याचा पट्टीस जी अढी आहे, ती या दिशाभेदाचें कारण आहे; या अढीचा योगानें चाकाचा चलनाचा दिशेंत फेर होतो, इतकेंच केवळ नाहीं, परंतु चलनसमयीं पट्टीचा आंगीं ताठपणा येतो.

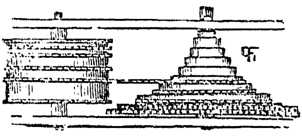
घडियाळांतील चाकें अशीं आहेत कीं, त्यांणीं गति उत्पन्न करून तिचा निबंध राखावा, याशिवाय त्यांस वजन उचलण्याचें किंवा प्रतिबंध दूर करण्याचें कांहीं

काम नसतें; या चाकांवर लागू होणारी जी शक्ति असत्ये, तिचे सामर्थ्यांत फेर पडतो, आणि चाकाची गति तर सर्वकाळ सारिखीच असावी असें असतें. मनांत आण कीं, ती शक्ति तिख्याचा कमाणीची गुंडाळी आहे, (आकृति ९८) ती जशी उलगडत जाते तशी तिची शक्तिही कमी होत जात्ये, यावरून तिचा उलगडण्याचा **आरंभीं** तिचा आंगीं अतिशय सामर्थ्य असतें हें उघड आहे. जा तऱ्हेनें या वस्तूची योजना घडियाळांत असत्ये ती पुढील आकृतींत आहे; तिजवरून वर सांगितलेल्या दोषाचें निवारण कसें केलें असतें तें दिसेल. ती वाटोळी कमाण गुंडाळून एका पितळेचा **ब** डबींत बसविलेली असत्ये (आकृति ९९), कमाणीचा एक टोंकास जें चौकोनी भोंक असतें त्याचा योगानें ती डबीचा आंतल्या बाजूस बसविलेली असत्ये; आणि जो आंस डबींतून जातो, त्यास त्या कमाणीचें दुसरें टोंक बसविलेलें असतें. **ब** डबीचा बाहेरून एक सांखळी गुंडाळलेली असत्ये, तिचें एक टोंक डबीचा बाहेर बसविलेलें असतें, आणि खालीं जाड आणि वर बारीक असा जो पितळेचा **फ** शंकू आहे, त्यास दुसरें टोंक अडकवितात, ह्या शंकूला त्याचा आंगचा आंस असतो, त्यावर तो फिरतो. या शंकूस **फ्यूसी**

आकृति ९८.



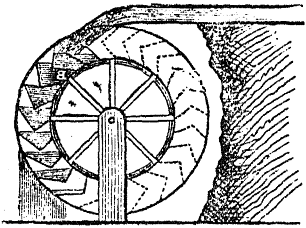
आकृति ९९.



ह्मणतात. फ्यूसीचा मळसूत्राकार पट्टींत जेव्हां सांखळी गुंडाळिली जात्ये, तेव्हां कमाण उलगडत्ये, जेव्हां घडि-याळाचा किल्लीचा योगानें आंस फिरवितात, तेव्हां सां-खळी डबीपासून सुटून फ्यूसीभोंवतीं गुंडाळत्ये, सांखळी डबीपासून सुटत्येसमयीं डबीस फिरवित्ये, आणि तेणेंकरून आंतील कमाणही आपल्या आंसाभोंवतीं गुंडाळत्ये. जेव्हां कमाणीचें सामर्थ्य अतिशय असतें, तेव्हां फ्यूसीचा बा-रीक भागाभोंवतीं सांखळी गुंडाळत्ये, तेणेंकरून तिचा व्यापार लहान उच्चालकाचा सहायानें घडतो असें ह्मणतां येईल. जशी हळू हळू कमाण सईल होत जात्ये, तशी फ्यूसीपासून सांखळी डबीवर येत्ये, आणि ती फ्यूसीचा बुडाशीं येत असतां तिला उच्चालकापासून अधिकाधिक नफा होतो. अशा रीतीनें शक्तीचा जो तोटा होतो, तो उच्चालकरूप नफ्यानें बरोबर होतो; ह्मणून हे दोन वि-रुद्ध परिणाम एकमेकाची बरोबरी करितात, आणि त्यां-चा परिणामापासून यंत्रास एकसारिखी गती मिळत्ये.

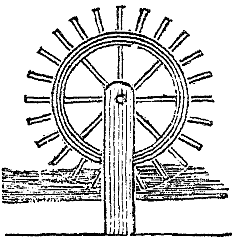
उदकप्रेरित चक्रांवर पाण्याचे प्रेरणेची योजना दोन प्रकारांनीं करितात, (१०० व्या) आकृतीप्रमाणें चक्राचे परिघास जो पात्रा-सारखा आकार केला अस-तो, त्यांत पाणी पडतें किंवा वाहात येतें. या पक्षीं या-यंत्रास **ऊर्ध्वहतचक्र** ह्मण-तात; कारण एका पन्ह-

आकृति १००.



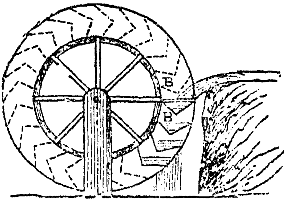
ळीचा योगानें चाकाचा शिराचा साधनीबरोबर पाणी आणतात, तें पाणी चाकाचा पात्रांत पडून तें आपल्या वजनानें त्या चाकास फिरवितें. कधीं कधीं चाकाचा परिघास फळ्यांचे तुकडे बसविलेले असतात, त्यांजवर पाण्याच्या आघाताची योजना करितात; जसें १०१ व्या आकृतींत दाखविलें आहे; अशा पक्षीं त्यास **अधोहतचक्र** ह्मणतात.

आकृति १०१.



पार्श्वहतचक्रांत या दोनही योजना असतात, १०२ आकृतींत पाहा; जेव्हां पाण्याचा पडण्याचें स्थान चक्राचा मध्यापेक्षां उंच असत नाहीं, तेव्हां अशा चक्राचा उपयोग करितात.

आकृति १०२.



चक्राचा परिघास जीं पात्रें केलीं असतात, त्यांत नळ बांधून आणलेलें पाणी पडतें, तेणेंकरून तें चक्र फिरतें; आणि जेव्हां हीं भरलेलीं पात्रें फिरतांना बुधाशीं येतात, तेव्हां त्यांतील पाणी बाहेर पडतें, आणि तीं रिकामीं पात्रें दुसऱ्या बाजूनें वर येऊन पुनः भरतात.—

चलनाचा सातत्यपणाची आणि नियमितपणाची गरज नसत्ये तेव्हां वातप्रेरित चक्रें, ह्मणजे ज्यांस व्यवहारांत पवनचक्क्या असें ह्मणतात त्यांचा उपयोग करितात. या पक्षांत वारा ही शक्ति आहे, आणि ती या यंत्रांचा भुजांचा

निरनिराळ्या भागांवर लागू होत्ये, यामुळें एका आसाचा निरनिराळ्या चक्रावर व्यापार घडतो, असें कल्पिलें पाहिजे. अशा पवनचक्क्या मुंबईंत कित्येक ठिकाणीं होत्या.

जनावरांचा शरिरांचा वजनानें आणि शक्तीनें चक्रांस चलन देतां यावें, अशा पुष्कळ युक्ती काढिल्या आहेत, त्यांतील एक युक्ति ही पुढील आहे. चाकाचा परिघाशीं घोड्यास उभा करून त्यास चाकावर चढवितात, तेव्हां त्याचा भारानें चाकाची ती बाजू खालीं येऊन घोडा आपल्या मूळचा स्थितीप्रमाणें उभा राहतो, आणि याप्रमाणें सर्वकाळ घडतें.

बंदरें आणि वखारी इत्यादि स्थळीं मोठमोठीं वजनें वर उचलण्याकरितां आणि खालीं सोडण्याकरितां, जें **क्रेन** या नावाचें यंत्र असतें, तें व्यवहारांत आंसास खिळलेल्या चाकाचा योजनेचें एक उदाहरण दृष्टीस पडतें. मोठ्या चाकाचा आंत मनुष्यांस चालवून हें यंत्र चालू करण्याची पूर्वी चाल होती; परंतु यापासून नफा न होतां केवळ अपाय मात्र होतात, यामुळें ही चाल सोडून दिली आहे. आंसास खिळलेल्या चाकाचा परिघास, उदकप्रेरित चक्राप्रमाणें फळीं बसवावीं, आणि त्यांवर एक अथवा अनेक मनुष्यांकडून भार घालवावा; भार घालण्याचें ठिकाण चाकाचा आडव्या आंसाचा उंचीइतकें उंच असावें, अशा तऱ्हेनें या यंत्रावर मनुष्याचा शक्तीची योजना चांगल्या रीतीनें घडत्ये, व त्यापासून नफाही होतो. बंदिवान लोकांपासून काम घेण्याकरितां अशा योजनेचीं यंत्रें बहुतकरून सर्व फौजदारी तुरुंगांत आहेत, त्यांस **ट्रेदमिल्** असें

ह्मणतात. पाणी काढण्याचा पायराहाट याच योजनेचें उदाहरण आहे.

गति वाढविण्याकरितां आंसास खिळलेल्या चाकाचा उपयोग करितात. यास उदाहरण सूत कांतायाचा राहाट.–

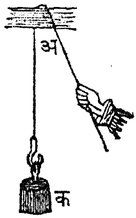
सर्व मूळ यंत्रांमध्यें आंसास खिळलेलें चाक हें फार उपयोगी यंत्र आहे, यामुळें तें मिश्र यंत्राचा अवयवांत असतें; या यंत्राची गति वाटोळी असून ती अखंड चालवितां येते, हा या यंत्रांत एक मोठा गुण आहे, याशिवाय चाकें दुसऱ्या यंत्रांस अनेक तऱ्हांनीं सहज जोडितां येतात; यावरून जा मिश्र यंत्रांत चाकें मुख्य अवयव नाहींत अशीं मिश्र यंत्रें फार थोडीं; बुंद दळण्याचें यंत्र, लोखंडाचे पत्रे दाबण्याचीं आणि त्यांस कापून त्यांचे बार करण्याचीं यंत्रें, चाकांचा गाड्या, कांतण्याचे सांगाडे, आणि दळण्याचीं यंत्रें, घडियाळें आणि सर्व काळमापक यंत्रें; सूत कातण्याचें यंत्र आणि कापूस, लोंकर, रेशीम यांचीं वस्त्रें करण्याचीं यंत्रें आणि निरनिराळ्या कामाकरितां निरनिराळ्या प्रकारचीं वाफ यंत्रें, इत्यादि अनेक प्रकारचीं यंत्रें यावरून केलीं आहेत.–

अध्याय ९.

दोरी अथवा कप्पी.

मागील भागांत जा यंत्रांचा विचार झाला तीं **ताठ** पदार्थांचीं केलीं आहेत असें मानिलें; परंतु जा यंत्राविषयीं आतां विचार करणें आहे, त्याचें यांत्रिक सामर्थ्य त्याचा प्रकृतीचा **नरमपणावर** असतें. एका दिशेपासून दुसऱ्या दिशेस प्रेरणा लागू करण्यासाठीं **दोरी** हें यंत्र घेतां येतें, हा या यंत्रापासून मोठा लाभ होतो. मनांत आण कीं **अ** दिशेंत प्रेरणा लागू करून **क** वजन उचलून धरावयाचें आहे; (आकृति १०३) दोरीचें एक टोंक वजनास बांधून दुसरें टोंक **अ** बाजूवरून टांगून त्यास शक्ति लागू केली असतां वरची प्रतिज्ञा सिद्धीस जाईल. जा आधारावरून अथवा टोंकावर दोरी जाते तें जर लांकडाचें अथवा लोखंडाचें असलें, तर प्रेरणेचा व्यापारामुळें पुष्कळ घर्षण होऊन दोरी लवकर झिजून जाईल; या अडचणीचें निवारण करण्यासाठीं कप्पीची योजना केली आहे, कप्पी ह्मणजे एक वाटोळा लांकडाचा तुकडा असतो, आणि त्याचा किनाऱ्यावर दोरी राहायाजोगी खोल आणि रुंद अशी एक खांच केलेली असत्ये; या वाटोळ्या तुकड्याचा मध्यांतून एक खुंटी मारलेली असत्ये, त्या भोवतीं तो तुकडा फिरतो, आणि ती खुंटी एका लांकडाचा घरांत बसविली

आकृति १०३.



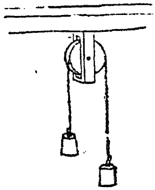
असत्ये. ही कप्पी आपल्या मध्यांतील खुंटीभोंवतीं फिरत्ये, यामुळें दोरीचें घर्षण बहुतकरून नाहींसें होतें हें उघड आहे; वाटोळा तुकडा आणि त्याचें घर हीं दोन्ही मिळून जरी कप्पी हें नाव पावलीं आहेत, तरी यांत्रिक-स्वार्थ या दोहोंपासून होत नाहीं परंतु दोरी पासून होतो, असें वर सांगितलें, कारण केवळ घर्षण नाहींसें करण्या-करितां मात्र तुकडा आणि त्याचें घर हीं कामांत घेतात. कप्प्या दोन प्रकारचा आहेत;–

१ अचरकप्प्या, ह्मणजे जा स्थानापासून हलत नाहींत. २ चरकप्प्या, ह्मणजे जा वजनाबरोबर वर येतात आणि खालीं जातात.

अचरकप्पी.

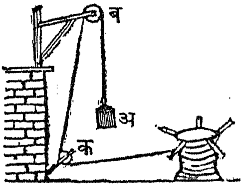
जेव्हां १०४ या आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें कप्पी अचर असत्ये, तेव्हां दोन सारखीं वजनें एका दोरीचा दोन टोंकांस बांधून, ती दोरी कप्पीवरून सोडिली असतां तीं वजनें समतोल राहातील; कारण जर कोणतेंहि एक वजन कांहीं स्थळांतून खालीं ओढलें, तर त्याच काळांत दुसरें वजन तितक्याच स्थळांतून वर चढेल, आणि दोरी सर्वत्र सारखीच ताणेल; आणि त्या दोघांचे वेग सारखेच आहेत, त्यावरून तीं परस्परांस तोलून धरितील. याव-

आकृति १०४.



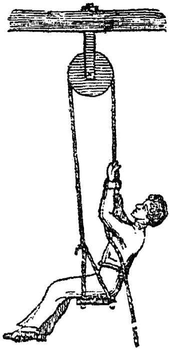
रून असें दिसतें कीं अचर कप्पीपासून कांहींच यांत्रिक-स्वार्थ होत नाहीं, तथापि तिचा योगानें प्रेरणेचा योजनेची **दिशा** फिरवितां येते, हा एक मोठा स्वार्थ होतो; कारण एक मनुष्य आपलें स्थान न बदलतां या कप्पीचा योगानें, कांहीं वजन पाहिजे तितक्या उंच स्थळीं चढवील, परंतु ती कप्पी नसली तर त्यास वजनाबरोबर वर चढावें लागेल; दोरीचा योगानें वजनावर कित्येक मनुष्यांची शक्ति लागू करण्यास हें यंत्र उपयोगी पडतें. कधीं कधीं दोन अचर कप्प्या कामांत आणाव्या लागतात आणि अशा पक्षीं घोड्याचा सामर्थ्यरूप प्रेरणेची योजना करितात, आणि बहुतकरून **क्यापस्तना**नेही शक्तीची योजना करितात. उदाहरण, मनांत आण कीं एक मोठें **अ** वजन उचलायाचें आहे (आकृति १०५), तर **ब** आणि **क** अशा दोन अचरकप्प्या घेऊन दोराचें एक टोंक वजनास बांधावें, आणि त्याचें दुसरें टोंक **ब** कप्पीवरून नेऊन खालचा कप्पींतून काढून **क्याप्स्तनास** बांधावें, नंतर त्यास प्रेरणा लागू करावी. अचरकप्पीचा साहायानें मनुष्य आपल्यास वर अथवा खालीं नेऊं सकेल; १०६ व्या आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें,

आकृति १०५.



जर तो एका खुरचीवर अथवा पात्रांत बसून त्यास दोराचें एक टोंक बांधून दुसरें टोंक अचरकप्पींतून नेऊन, तो खालीं ओढील, तर दोराचा लांबीचा अर्धा इतक्या उंची वर चढेल; त्याच-प्रमाणें दोराचा अर्धा इतका खालीं ये-ईल; या कारणावरून आगींतून वांच-विण्याचीं साधनें केलीं आहेत, त्यांतील अचरकप्पी आग लागलेल्या घराचा एका भागास अडकवून तिचा योगानें खालीं उतरतात.–

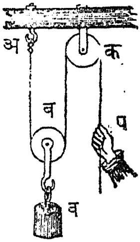
आकृति १०६.



चरकप्प्या.

बाजूवरील १०७ व्या आकृतींत एक **चरकप्पी** दाखविली आहे, आणि तिचा आणि **अचरकप्पीचा** भेद इतकाच कीं, चरकप्पीचा खालून दोरी जाऊन तीस ती टांगली असत्ये, आणि त्या कप्पीस वजन टांगलें असतें. **अ** स्थिर बिंदूपासून एक दोरी नेऊन, **ब** वजनास जी **ब** चरकप्पी जोडिली आहे त्यांतून काढिली आहे, आ-णि पुनः तें टोंक **क** अचरकप्पीवरून नेऊन त्याचा **प** स्थळीं शक्ति लाविली आहे, जेव्हां **प** शक्ति खालीं येत्ये, तेव्हां दोराचा **ब अ** आणि **ब क** भागांची लांबी कमी होत्ये, यामुळें खालची चरकप्पी

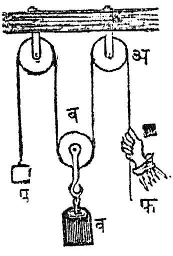
आकृति १०७.



वर चढत्ये, आणि या दोन भागांची लांबी जशी कमी होत्ये, त्याप्रमाणें चरकप्पी आणि वरचें बाहाल यांमधील अंतरही कमी होत जातें. दोरीचा अ ब आणि ब क भागांनीं सर्व वजन उच्चलून धरिलें आहे आणि ते दोनही भाग सारखेच ताणले आहेत, यामुळें प्रत्येकास अर्धें वजन उच्चलावें लागतें; यावरून जर अर्ध वजनाबरोबर शक्ति असेल, तर या यंत्राचा सहायानें तितकी शक्ति सर्व वजनास उच्चलून धरील.—

१०७ व्या आकृतींत दोराचें एक टोंक **अ** स्थळीं बांधिलें आहे अशी कल्पना केली, त्याचाबदल तें टोंक लांब करून एका अचरकप्पीवरून जाऊन **फ** पर्यंत लोंबत आहे अशी कल्पना करितों, जसें (१०८) व्या आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें; आणि असें करून, वजनाचा अर्धाबरोबर नवी प्रेरणा **फ** स्थळीं लागू केली असतां, ती **अ फ** दोरास खालीं ओढील; १०७ व्या आकृतींत दाखविलेल्या **अ** स्थळानें, त्याचा वांट्यास आलेला वजनाचा जो अंश उच्चलून धरिला होता, त्याबरोबर

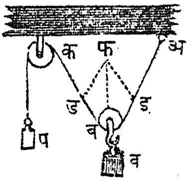
आकृति १०८.



ही नवी प्रेरणा होईल; आणि जा प्रेरणेनें वजनाचा व्यापार त्या बिंदूवर घडतो, त्याबरोबर, आघात आणि प्रत्याघात यांचा नियमानें ही नवी प्रेरणा होईल; आणि वजन आपल्या अर्धशक्तीनें त्याजवर लागू होतें, त्यावरून वजन उच्चलून धरणारी **अ** बिंदूवरची शक्ति अर्ध वजनाबरोबर आहे. परंतु **अ** अचरकप्पीवरून लागू होणारी **फ** स्थ-

ळींची नवी प्रेरणा अर्ध वजनावरोबर आहे, यामुळें ती अ स्थळींचा प्रेरणेबरोबर होईल. यावरून असा निश्चय करितां येतो कीं, ही नवी कप्पी काढून टाकिली, अशी कल्पना मनांत आणली असतां, वजन, शक्ति आणि स्थिरबिंदु यांचा योगानें अ ब आणि ब क दोऱ्या बरोबर ताणल्या असतात; कारण, आपल्या अर्ध वजना-इतक्या प्रेरणेनें वजन त्यांतून प्रत्येकीस ओढितें; आणि त्याच दोऱ्यांस दुसऱ्या बाजूस, शक्ति आणि स्थिरबिंदु हेही अर्ध वजना इतक्या प्रेरणेनें ओढितात; यावरून त्या सारख्या प्रेरणांनीं ताणल्या असतात, ह्मणून त्या सारख्या ताणल्या जातात. या पक्षांत वजनाचें जें अर्ध घडतें तो चरकप्पीपासून यांत्रिक स्वार्थ होतो असें जाणावें; उदाहरण, जर वजन १२ शेर आहे, तर त्यांतील ६ शेर १०७ व्या आकृतीप्रमाणें अ स्थिर बिंदूनें उचलिले जातील, आणि बाकीचे ६ शेर प शक्तीनें उचलिले जातील.

आकृति १०९.

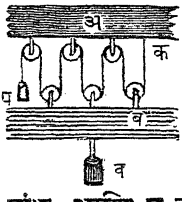


अ ब आणि ब क दोऱ्या उभ्या असतात, त्या तशा नसतां, जर बाजूवरील (१०९ व्या) आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें तिर्कस असल्या, तर वजन उचलून धरण्याकरितां वजनाचा अर्धा पेक्षां अधिक शक्ति असावी. यापक्षीं कांहीं वजन उचलून धरण्यास जी शक्ति पाहिजे, तिचा परिमाणाचा निश्चय ठरविण्यासाठीं १४ व्या पृष्ठावर प्रेरणैकीकारण आणि प्रेरणापृथक्करण यांचें कारण समजावून दाखविलें आहे, तें येथें लागू केलें पाहिजे; तर

पहिल्यानें वजनांत जितके तोळे असतील तितक्या इंचांची ब बिंदूपासून एक उभी रेघ काढ, मनांत आण कीं ती रेघ फ पर्यंत जात्ये, नंतर फ पासून फ ड रेघ अ ब शीं समांतर काढ आणि ब क शीं समांतर फ इ रेघ काढ; फ ब रेघेनें दाखविलेलें वजनाचें परिमाण, ड ब आणि ब इ रेघांनीं दाखविलेल्या प्रेरणांचा बरोबर होईल. दोरीचा ब क भागावर जितका तणावा असतो, तो ब ड रेघेंत जितके इंच असतात, तितक्या तोळ्यांबरोबर आहे असें जाणावें, आणि याचप्रमाणें दोरीचा ब अ भागावर जितका तणावा आला असतो तो, ब इ रेघेंत जितके इंच असतात, तितक्या तोळ्यांबरोबर आहे असें जाणावें; आणि ब वजनानें दोरी सारखी ताणली आहे, ह्मणून ब ड आणि ब इ बरोबर आहेत, आणि प क दोरीस ओढणारी प शक्ति, ती यांतून प्रत्येकाबरोबर असावी.

कप्प्यांचा संयोग केल्यानें त्यांचें यांत्रिकसामर्थ्य अतिशय वाढवितां येईल. कप्प्यांचा संयोगाचा अथवा रचनेचा दोन भिन्न जाती आहेत; एका प्रकारांत केवळ एक दोर असतो, आणि दुसऱ्यांत अनेक दोर असतात.

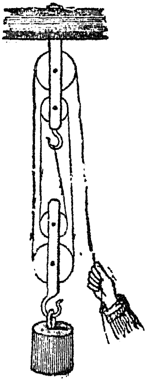
आकृति ११०.



बाजूवरील ११० व्या आकृतींत एक दोरी कित्येक अचर कप्प्यांवरून नेली आहे. मनांत आण कीं वरचा अ बाहालास तीन कप्प्या आहेत आणि खालचा ब बाहालासही तीन कप्प्या आहेत; दोरीचें एक टोंक क जवळ बांध, आणि ब बाहलाचा कप्प्यांचा खालचा बाजूनें तो

दोर घेऊन, अ बाहालाचा कप्प्यांचा वरचा बाजूनें ने; दोरीचा दुसऱ्या टोंकास प शक्ति लाव; नंतर जर खालचा बाहालास व वजन टांगिलें आणि सर्व दोऱ्या समांतर असल्या, तर दोरीचा प्रत्येक भागावर प शक्ति इतका भार पडेल. या पक्षांत, खालचा बाहालास तीन कप्प्या आहेत, आणि त्यास वजन टांगिलें आहे, ह्मणून त्या वजनाचे तीन भाग केले आहेत अशी कल्पना करावी, आणि त्यावरून प्रत्येक कप्पी सर्व वजनाचा तिसरा भाग उचलील ; परंतु खालचा दर एक कप्पीस दोन दोऱ्या आहेत, त्यावरून, या तीन भागांतून प्रत्येकाचा **त्यापाराचें** बरोबर दोन भाग केले आहेत अशी कल्पना करितां येईल.— आणि यामुळें सर्व वजनाचा सहावा भाग एक दोरीस उचलावा लागेल, अथवा प स्थळीं १ शेर लावला असतां व स्थळीं ६ शेरांस तोलून धरितां येईल.

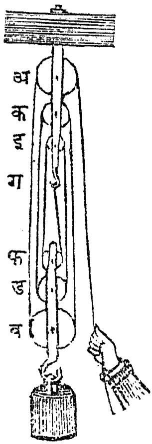
आकृति १११.



१११ व्या आकृतींत वजनास उचलणाऱ्या दोऱ्यांची संख्या चार आहे, आणि यामुळें त्यांत शक्तीचे चौपट वजन आहे; मागील उदाहरणावरून हें उघड आहे, कीं प्रत्येक दोरी वजनाचा सारखा भाग उचलित्ये; ह्मणून सर्व वजनाचे चार भाग केले आहेत, आणि त्यांतून दर एक भागास एक दोरी उचलित्ये अशी कल्पना करितां येईल. या यंत्रांत शक्ति किती लावावी लागेल अथवा वजन किती कमी होईल, याची गणना करण्यासाठीं

चरकप्प्यांची संख्या दोहोंनीं गुणावी ह्मणजे तो गुणाकार इच्छिली यंत्राची शक्ति होईल. उदाहरण, दोन चरकप्प्यांस दोन दोऱ्यांनीं गुणिलें असतां गुणाकार चार होतो; यामुळें जी शक्ति लावावी लागेल ती वजनाचा चतुर्थांशाबरोबर होईल, आणि याप्रमाणें पुढेंही.

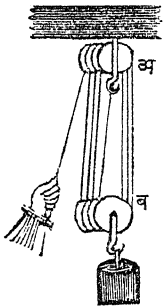
आकृति ११२.



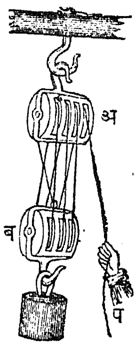
११२ व्या आकृतींत दुसरी एक कप्प्यांची रचना दाखविली आहे, त्यांत केवळ एक दोर आहे. त्यांत खालचा जोडास वजन टांगिलें असतें, आणि तो चर आहे, त्यास ब, ड, आणि **फ**, अशीं तीन चाकें आहेत. वरचा जोड अचर आहे, आणि त्यास **अ**, **क**, आणि इ, अशीं तीन चाकें आहेत, आणि दोराचें टोंक **ग** आंकड्यास बांधून, अनुक्रमाने खालचा आणि वरचा चाकांतून नेऊन, शेवटीं वरचा शेवटील चाकावरून काढून त्यास शक्ति बांधितात. जा सर्व दोऱ्या खालचा जोडांतून जातात, त्या वजनास उचलून धरितात; आणि त्यांस ताणणारी शक्ति सारखीच असत्ये, यामुळें वजनाचा व्यापार सर्वांवर सारखा वांटला जातो. यावरून खालचा जोडास उचलून धरणारी जी दोऱ्यांची संख्या असेल, तितक्यापट शक्तीपेक्षां वजन मोठें असावें हें उघड आहे. जसें, वर दाखविलेल्या उदाहरणांप्रमाणें जर ६ दोऱ्या असल्या, तर प्रत्येक दोरी वजनाचा सहावा भाग उचलील,

पुढें दाखविलेल्या ११३ व्या आणि ११४ व्या आकृतींस हीच गोष्ट लागू होत्ये; गलबतावर शिडें, डोलकाठ्या इत्यादि पदार्थ चढविण्यांत अथवा खालीं उतरण्यांत यांचा मुख्यत्वेंकरून उपयोग करितात. मागें दाखविलेल्या रचनेंत कप्प्यांचा जोडांची लांबी फार असत्ये, यामुळें जेथें सर्व यंत्र टांगलें असतें त्याचा अगदीं जवळ वजन चढवितां येत नाहीं, ह्मणून त्या रचनेपेक्षां व्यवहारांत ह्या दाखविलेल्या रचना फार सोईस पडतात. १११ आणि ११२ आकृतींत कप्प्या एकाखालीं एक आहेत, तशा बाजूवरील आकृतींत नाहींत, परंतु या एकमेकाचे बाजूस आहेत. (११४ व्या आकृतींत) अ ठोकळ्यांत तीन अचरकप्प्या बसविल्या आहेत, आणि ब ठोकळ्यांत तीन चरकप्प्या बसविल्या आहेत. जर उचलावयाचें वजन १२०० शेर असलें, तर वरचा उदाहरणाप्रमाणें त्याचा भार सहा दोऱ्यांवर आहे अशी कल्पना करावी, ह्मणजे तेणेंकरून वजन उचलण्यास २०० शेरांची मात्र शक्ति लागेल. या रचनेंत दोरांची रचना कप्प्यांवर तिर्कस होत्ये आणि घर्षण अधिक होऊन त्यांचे आंस झिजतात हा एक मोठा दोष आहे; आणि १०९ व्या आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें जा सर्व पक्षांत शक्तीचा व्या-

आकृति ११३.



आकृति ११४.

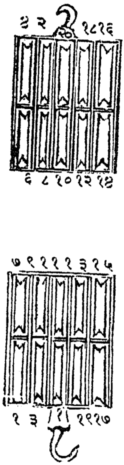


पार तिर्कस घडतो, त्यांत दोरीचा तणाव्याची दिशा उभ्या लंब रेघेपासून जितकी दूर असेल, त्या प्रमाणानें शक्तीचा तोटा होईल. कप्प्यांचा अशा रचनांचे शक्तीची गणना करित्ये समयीं, जें वजन उचलायाचें असतें, त्यांत खालचा ठोकळ्याचा वजनाची गणना केली पाहिजे.

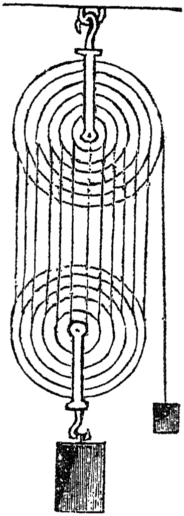
स्मीतन् या नावाचा एक प्रख्यात पुरुष होता त्याणें एक कप्प्यांची रचना कल्पनेनें केली आहे, त्यांत दर एक ठोकळ्यांत दहा चाकें असतात व तीं दोन ओळींत रचलीं असतात. ११५ व्या आकृतींत चाकांखालीं १,२,३ इत्यादि अंक मांडले आहेत, त्या अनुक्रमानें दोरी चाकांतून नेली असत्ये. सर्व दोऱ्यांचा आंगीं सारखा तणावा आला असतो, यामुळें शक्तीचा सामर्थ्याइतका प्रत्येक दोराचा व्यापार सर्व वजनावर घडतो. जसें, २० शक्तीचा योगानें ४०० शेराचें वजन उचलितां येईल, कारण खालचा ठोकळ्यांत १० कप्प्या आहेत, प्रत्येक कप्पीस दोन दोन दोऱ्या आहेत, त्यांस २० शक्तीनें गुणिलें असतां उत्तर ४०० शें येईल.

कप्प्यांचा जा रचनेचें वर्णन वर केलें, त्यांत प्रत्येक कप्पीस निराळा आंस आहे; आणि **प्रत्येक** कप्पी आपल्या आंसावर फिरत्ये, यामुळें घर्षण फार होतें. ह्या दोषाचें निवारण करण्यासाठीं **व्हैत् साहेबानें** एक चांगली युक्ति काढिली आहे, त्यांत प्रत्येक ठोकळ्यांतील सर्व कप्प्या एकाच आंसावर फिरतात. ११६ व्या आकृतींत **व्हैत् साहेब** याची कप्पी दाखविली आहे, त्यांत दोन वाटोळे ठोकळे आहेत, आणि एकएक ठोकळ्यांत कप्प्या

आकृति ११५.

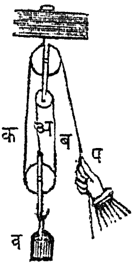


आकृति ११६.



एकावर एक आहेत, आणि त्या सर्व एकाच आंसावर फिरतात. वरचा ठोकळ्याचा मोठ्या कप्पीपासून आरंभ करून अनुक्रमानें प्रत्येक कप्पीवरून एक दोर नेऊन शेवटीं त्याचें टोक वरचा ठोकळ्याचा मध्यार्शी बांधितात.

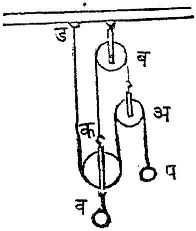
आकृति ११७.



एका अचरकप्पीचा योगानें शक्तीचा तिप्पट वजन उचलून धरितां येईल, ही योजना पुढील ११७ व्या आकृतींत दाखविली आहे. त्यांत दोरीचा **अ**, **ब** आणि **क** अशा तीन भागांनीं १ शेराचा **प** शक्तीनें तीन शेरांचें **व** वजन उचलिलें आहे. कारण **अ**, **ब** आणि **क** यांतून प्रत्येक दोरीवर सारखाच तणावा आहे,

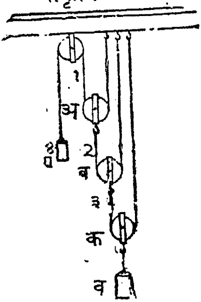
आणि तो **प** वजना इतका आहे; आणि या सर्वांचा तणाव्यास प्रतिबद्धक **व** वजन आहे. दोन दोऱ्या आणि दोन चरकप्प्या यांचा साहित्यानें एका लहान वजनानें त्याचा चौपट अथवा पांचपट मोठें वजन उचलितां येईल, असें बाजूवरील ११८ व्या आकृतींत दाखविलें आहे. **ब** अचरकप्पी वरून जी **अ ब क** दोरी जात्ये

आकृति ११८.



तिचा टोंकांस दोन चरकप्प्यांचे ठोकळे बांधले आहेत. एक दोरी पहिल्या कप्पीवरून नेऊन तिसऱ्या कप्पीचा खालून काढून **ड** वहालास बांधिली आहे, आणि त्या दोरीचा दुसऱ्या टोंकास **प** शक्ति लागू केली आहे. या पक्षांत **प अ, अ क, क ड** यांतून प्रत्येक दोरीवर **प** शक्ति एतका भार आहे; आणि **अ ब, ब क** यांतून प्रत्येक दोरी **प** शक्तीचा दुप्पट भार उचलत्ये; आणि **ड क, क ब, क अ,** या दोऱ्यांवरचा भारास प्रतिबद्धक **व** वजन होतें या वरून **तें प** चा चौपट असावें.

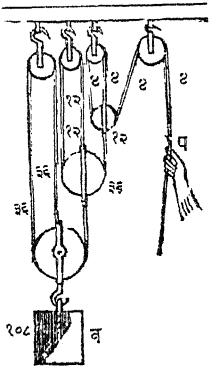
आकृति ११९.



कप्प्यांचा रचनेची शक्ति हवी तितकी वाढवितां येईल,अशा तऱ्हेनें अनेक चरकप्प्यांची योजना करितां येईल; बाजूवरील ११९ व्या आकृतींत एक कप्प्यांची योजना दाखविली आहे आणि तिला तीन दोर आहेत, आणि त्यांत शक्तीचा आठपट वजन आहे. पहिल्या दोरीचा शेवटास ४ शेरांची शक्ति टांगली आहे. ह्या दोरीवर १ ही खूण केली

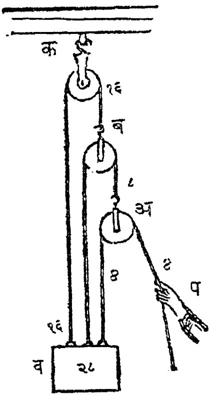
आहे. आणि ती अ कप्पीखालून नेली आहे, आणि प्रत्येक दोरावर ४ शेरांचा भार आहे, यावरून तेथें ८ शेरांचें वजन उचलितां येईल. दुसऱ्या दोरीवर २ हा अंक मांडिला आहे, तो ब चरकप्पीखालून जातो. यावरून तो १६ शेरांचें वजन उचलील; ह्मणजे एक एक बाजूस ८ शेरांचा भार पडतो. बाकीचा तिसऱ्या दोरावर ३ हा अंक मांडिला आहे, आणि तो क चरकप्पीखालून जातो, यामुळें त्याचा प्रत्येक बाजूस १६ शेरांचा भार पडतो, अथवा सर्व मिळून ३२ शेरांचें वजन उचलावें लागतें. याप्रमाणें ४ शेर प स्थळीं टांगिले असतां व स्थळीं ३२ शेर उचलितां येतील. वर दाखविल्याप्रमाणें तीन दोर आणि तीन चरकप्प्या यांचे जागीं जर चार दोर आणि चार चरकप्प्या असतील, तर प स्थळीं ४ शेर ठेविल्यानें व स्थळीं ६४ शेर उचलितां येतील. आणि याच प्रमाणानें पुढेंहि घडेल; कारण कीं अशा रचनेस एक दोर अधिक लाविला असतां यंत्राचा सामर्थ्याची दुप्पट करितो हें उघड आहे. ११९ व्या आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें आंकड्यांचे जागीं, लहान अचरकप्प्यांची योजना केल्यानें या यंत्ररचनेचें सामर्थ्य फार वाढवितां येतें. या पक्षांत दोराचें टोंक आंकड्यास बांधिलेलें नसतें, परंतु तें एका अचरकप्पीवरून नेऊन एका चरकप्पीस बांधिलें असतें. वर दाखविल्याप्रमाणें प्रत्येक चर कप्पीस दोन दो-

आकृति १२०.



त्यांचा सारख्या तणाव्याचा आधार आहे, त्याबदल या पक्षांत तीन दोऱ्यांचा सारख्या तणाव्याचा आधार आहे, ह्मणून पहिल्या दोरावर शक्तीचा बरोबर तणावा आला असतो, आणि त्याचा तिप्पट तणावा दुसऱ्या दोरावर आला असतो. दुसऱ्या दोराचा तिप्पट अथवा पहिल्या दोराचा नऊपट तणावा तिसऱ्या दोरावर आला असतो, आणि याप्रमाणें पुढेंही घडतें. आणि शेवटील दोराचा तणाव्याचा तिप्पट वजन असतें. यामुळें **प** स्थळीं ४ शेर असल्यानें **व** स्थळीं १०८ शेर उचलितां येतील.

आकृति १२१.

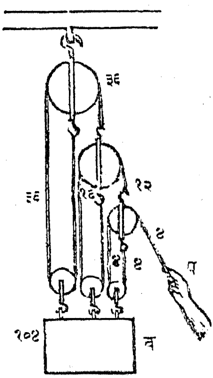


बाजूवरील १२१ व्या आकृतींत एक कप्प्यांची रचना दाखविली आहे, त्यांत ११९ व्या आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें दोराचें टोंक शेवटीं एका स्थिरबिंदूस बांधिलें असतें तसें नाहीं, परंतु तें वजनास बांधिलें आहे. **अ** आणि **ब** ह्या दोन चरकप्प्या आहेत, आणि **क** अचरकप्पी आहे. **क** अचरकप्पीवरून एक दोर नेऊन त्याचें एक टोंक **व** वजनास बांधिलें आहे, आणि दुसरें टोंक **ब** चरकप्पीस अडकविलें आहे, पूर्वीप्रमाणें **ब** कप्पीवरून दुसरा एक दोर नेऊन त्याचें एक टोंक वजनास बांधिलें आहे, आणि दुसऱ्या टोंकास **अ** कप्पी बांधिली आहे. या पक्षांत वजनास उचलणारे तीन दोर आहेत; त्यांतून पहिला दोर शक्तीचा साम-

र्थ्यानें ताणला आहे. दुसरा दोर शक्तीचा सामर्थ्याचे दुपटीनें ताणला आहे, आणि तिसरा दोर शक्तीचा सामर्थ्याचा चौपटीनें ताणला आहे. यावरून या पक्षांत शक्तीचा सातपट वजन आहे, ह्मणजे प स्थळीं ४ शेर लाविल्यानें व स्थळीं २८ शेर उचलितां येतील.

१२१ व्या आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें दोरांचीं टोकें वजनास बांधिलेलीं असतात, त्याबदल बाजूवरील (१२२) व्या आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें तीं टोंकें चाकांचा आंतून नेऊन शेवटीं वरचा कप्प्यांस बांधिलीं, तर अशा रचनेचें सामर्थ्य फार वाढवितां येईल. या उदाहरणांत शक्तीचा २६ पट वजन आहे. ह्मणजे प स्थळीं ४ शेर असल्यानें व स्थळीं १०४ शेर उचलितां येतील.

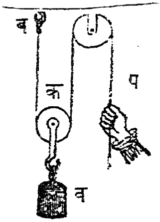
आकृति १२२.



कप्प्यांचा भिन्नभिन्न जातींचा रचनाचा विचार करितेसमयीं कप्प्यांचें वजन गणनेंत घेतलें नाहीं. मागील दोन उदाहरणांत, १२१ आणि १२२ या आकृतींत कप्प्यांचे वजनापासून उचलणाऱ्या शक्तीस साहित्य होतें असें एथें लिहिण्यास योग्य आहे. आणि ११९ आणि १२० या आकृतींत कप्प्यांचें वजन शक्तीस प्रतिबद्धक होतें. कप्प्यांचा या रचनेस (११८ आकृति) स्पानिश् बारतन् असें ह्मणतात, त्यांत कप्प्यांचीं वजनें परस्परांस नाहींशीं करितात.

उचालक आणि दुसरीं सर्व यंत्रें यांप्रमाणें कप्पीसही **विर्तुअल् विलोसितीचा** नियम लागू होतो असें सर्व पक्षांत दिसून येईल. उदाहरण, दोराचें एक टोंक ब आंकड्यास बांध (आकृति १२३) नंतर

आकृति १२३.



क चरकप्पीस वजन टांगून तिचा खालून दोर नेऊन त्याचा दुसऱ्या **प** टोंकास शक्ति लागू केली आहे अशी कल्पना जर केली, तर **व** वजन १ फूट चढवण्याकरितां, जा दोन दोरांनीं वजन आणि कप्पी हीं उचलून धरिलीं आहेत, त्यांतून प्रत्येक दोर १ फूट तोंकडा झाला पाहिजे हें उघड आहे. ह्मणजे वजनास १ फूट चढविण्याकरितां शक्तीस २ फुटी खालीं आलें पाहिजे, आणि यावरून वजनाचा वेगाचे दुप्पट शक्तीचा वेग होतो. याच रीतीनें १०७ व्या आकृतींत १ शक्तीनें ३ वजन उचलिलें जातें, त्यांत जर शक्ति ३ फुटी खालीं जात्ये, तर जा कप्पीस वजन टांगिलें आहे, तिचा दोर तीन फुटी तोंकडा होईल, आणि यासुळें त्या कप्पीस जे दोराचे तीन भाग असतात, ते प्रत्येक एक एक फूट तोंकडे होतील असें सिद्ध करितां येईल. या पक्षांत वजनाचा वेगाचा तिप्पट शक्तीचा वेग आहे. कप्प्यांचा जा सर्व रचनांचें विवरण मागें केलें त्यांसही हा नियम एकसारखा लागू होतो. हीच गोष्ट शब्दभेदानें सांगितली असतां, याप्रमाणें ह्मणतात, कीं कप्प्यांचा कोणत्याही रचनेंत जेव्हां वजन आणि शक्ति हीं परस्परांस तोलून धरितात, तेव्हां

शक्ति आणि जा स्थळांतून तिचें गमन घडतें, त्यांचा गुणाकार, वजन आणि त्याचे गमनाचें स्थळ यांचा गुणाकार, हे बरोबर होतील. शास्त्ररीतीनें कप्पीपासून जो स्वार्थ होतो असें दिसतें, तो स्वार्थ व्यवहारांत फार कमी होतो, कारण दोऱ्यांचें घर्षण, आणि जा खुंट्यांवर अथवा आंसांवर कप्प्या फिरतात त्यांचें घर्षण, यांसाठीं पुष्कळपणीं सूट द्यावी लागत्ये. बहुतेक पक्षांत शक्तीचे निकृष्ट तरी दोन तृतीयांश नाहींसे होतात असें ठरविलें आहे. **गारनेट्** साहेबानें **घर्षणलाटांची** जी युक्ति काढिली आहे, तिची योजना केली असतां कप्प्याचा कोणत्याही रचनेंतील **घर्षण** फारकरून कमी करितां येईल.

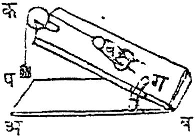
अध्याय १०.

उतरण.

सर्व मूळ यंत्रांत उतरण हें एक फार साधें यंत्र आहे; त्यांतील मुख्य अवयव एक सपाटी, ती केवळ कठीण अशी कल्पिलेली असत्ये, आणि क्षितीमर्यादेच्या सपाटीशीं ती सपाटी कोन करित्ये. त्या सपाटीचा उतार क्षिति-मर्यादरेषेजवळ जवळ किंवा उभ्या चढावासारिखा असतो – जेव्हां मोठेसें पिंप गाडींत चढवायाचें असतें, आणि जेव्हां चढविणाऱ्या मनुष्याचा शक्तीपेक्षां तें जड असतें, तेव्हां तो एक बळकट फळें घेऊन त्याचें एक टोंक गाडीवर टेंकून दुसरें टोंक जमिनीवर ठेवितो; आणि अशा तऱ्हेनें उतरण तयार करून तिचा उपयोग करितो; नंतर तो मनुष्य त्या फळ्यावरून तें पिंप लोटीत लोटीत शेवटीं गाडींत टाकितो. ही उतरण जितकी लहान असेल तितका तिचा चढाव अधिक होईल. आणि तीच उतरण जितकी लांब असेल त्याप्रमाणें तिचा चढाव सोपा होईल हें उघड आहे. जा टेंकडीचा चढाव केवळ उभा असतो, तिचावर ओझें चढविण्यापेक्षां, जी टेंकडी थोड्या चढावाची असत्ये, तिजवर ओझें लोटीत नेण्यास फार सोपें पडतें, ही गोष्ट अनुभवावरून समजत्ये – मनांत आण कीं एक पिंप ५०० शेर वजनाचें आहे; आणि जर कोणत्याही यंत्राचा उपयोग केला नाहीं तर तें पिंप गाडींत उचलून ठेवण्यास ५०० शेरांची शक्ति लागेल.

परंतु जर त्यास उतरणीवरून लोटीत नेलें, तर ५०० शेरांपेक्षां कमी शक्ति लागेल, आणि शक्तीचा हा कमीपणा उतरणीचा चढावाचा कमीपणाचा प्रमाणानें घडेल. इतर सर्व यांत्रिकस्वार्थाप्रमाणें यांत जो नफा होतो, त्याप्रमाणें लागलाच काळाचा तोटा होतो. उतरणीचा उंचीपेक्षां उतरणीची लांबी जितकी अधिक असेल, त्याप्रमाणें या मूळ यंत्रापासून नफा होईल. बाजूवरील (१२४) व्या आकृतींत अ ब क्षितिमर्याद सपाटी आहे, ब क दुसरी एक सपाटी पहिलीशीं तिर्कस ठेविलेली आहे; त्या दुसऱ्या सपाटीचा उंचीचा कोन अ ब क आहे, आणि व तिजवर ठेविलेलें वजन आहे, असें मनांत आण. उतरणीचा उंचीचे दुप्पट जर तिची लांबी असेल, ह्मणजे जर अपासून क पर्यंत अंतराचे दुप्पट ब क सपाटीची लांबी असेल,– तर प स्थळीं ४ शेर टांगिल्यानें ब आणि क यांचामध्यें कोठें तरी ८ शेरांस तोलून धरितां येईल. जर अ पासून क पर्यंत उंची न वाढवितां ब क सपाटीची लांबी वाढविली, तर प स्थळीं ४ शेरांपेक्षां कमी शक्ति लाविल्यानें ब आणि क यांचामध्यें कोठें तरीं ८ शेर तोलून धरितां येतील हें उघड आहे;– या व्याख्यानापासून असा निश्चय करितां येईल, कीं उतरणीची उंची जितकी कमी असेल, त्याप्रमाणें कोणतेंही वजन तिजवर तोलून धरण्यास कमी शक्ति लागेल. वरचा आकृतींत ब स्थळीं बिजागरें आहे त्यावर ब क उतरण फिरतें, तेणेंकरून उतरण वर किंवा

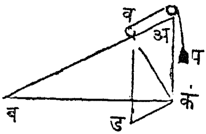
आकृति १२४.



खालीं करितां येत्ये; आणि यामुळें तिचा उंचीचा कोन अधिक किंवा कमी करतां येतो आणि भाग केलेला जो ग कौंस आहे त्यावरून तो कोन दिसून येतो.

प्रेरणैकीकरण आणि प्रेरणापृथक्करण यांचें कारण लागू केलें असतां वर दाखविलेला उतरणीचा गुण नीटपणीं लक्षांत येईल; बाजूवरील (१२५) व्या आकृतींत व वजनावर प शक्ति उतरणीशीं अ ब समांतर दिशेंत लागू होत्ये असें मनांत आण; अ ब वर क व लंब कर, अ क शीं समांतर व ड कर, आणि अ ब उतरणीशीं समांतर क ड कर; आतां व वजनावर लागू होऊन त्यास तोलून धरणाऱ्या प्रेरणा तीन आहेत; एक प शक्ति, तिचा व्यापार व अ दिशेंत घडतो; दुसरी प्रेरणा, पदार्थाचें वजन, तिचा व्यापार व ड दिशेंत घडतो; तिसरी प्रेरणा, उतरण, तिचा व्यापार क व लंबाचा दिशेंत घडतो.

आकृति १२५.



आतां प्रेरणोपपादक समांतरबाजूचौकोनाचा सिद्धांतापासून असें दिसण्यांत येतें कीं, जर त्रिकोणाचा बाजूंशीं समांतर दिशेंत तीन प्रेरणा एका पदार्थावर लागू होऊन त्यास तुलनेंत ठेवितात, तर त्या प्रेरणा त्या त्रिकोणाचा बाजूंशीं प्रमाणांत होतील. यावरून व अ ला व ड, अथवा व अ ला अ क, आथवा अ क ला अ ब त्याप्रमाणें प शक्ति व वजनास होईल. उदाहरण, जर उतरणीची उंची १ फूट, आणि तिची लांबी २० फुटी आहे, तर त्या उतरणीवर २० शेरांचें वजन १ शेराचा शक्तीनें तोलून धरितां येईल.

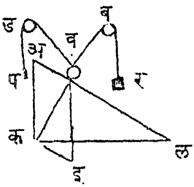
वरचा सर्व लेखांत शक्ति वजनास तोलून किंवा उचलून धरित्ये असें जेथें येईल, त्याचा अर्थ वजनाचा सर्व भार शक्तीवर पडतो, असा करूं नये, परंतु शक्ति वजनास उतरणीवरून खालीं गडबडूं देत नाहीं असें समजावें. शक्ति आणि उतरण हीं यथांशेंकरून सर्व वजनास तोलून धरितात; आणि उतरणीचा योगानें वजनाचा जितका भाग संभाळिला जातो, तो शक्तीचा वांट्यांतून कमी होतो. उतरणीचा उताराचा कोन जितका कमी असेल तितकें थोडें वजन शक्तीस उचलावें लागेल, आणि उतरणीचा वांट्यास अधिक येईल; आणि याचा उलटेंही घडेल.

जेव्हां एक पदार्थ उतरणीवरून लोटीत नेतात, तेव्हां घर्षण आणि त्या पदार्थाचें गुरूत्व यांचा अतिक्रम करावा लागतो; कारण गुरूत्वाचा योगानें पदार्थ अति नीच स्थळीं येऊं लागतो, पण सरळरेषेंत पृथ्वीचा सपाटीकडे येण्यास त्यास उतरण प्रतिबंध करित्ये. गुरूत्वाचें विवरण करित्ये समयीं (४३) व्या पत्रांत सांगितलें आहे, कीं पदार्थ आपल्या गुरूत्वाचा योगानें पडून पृथ्वीचा सपाटीकडे येऊं लागला असतां, पहिल्या सेकंदांत त्याचें पतन १६$\frac{१}{१४}$ फुटींतून घडतें; परंतु जेव्हां तो उतरणीवरून खालीं येतो, तेव्हां, १६$\frac{१}{१४}$ फुटींत जितक्या उताराचा फुटी असतील तितक्या फुटींतून त्याचें गमन पहिल्या सेकंदांत घडतें. उदाहरण, उतरणीचा लांबीचा १६$\frac{१}{१४}$ फुटींत ३ फुटी उतार असेल, तर पदार्थ या उतरणीव-

रून पहिल्या सेकंदांत ३ फुटीं खालीं येईल, आणि याप्रमाणें पुढें होईल.

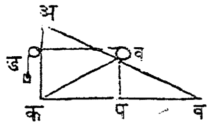
शक्तीचा व्यापार वर सांगितल्याप्रमाणें उतरणीशीं **समांतर** दिशेंत घडतो, तसा न घडतां, जर १२६ व्या आकृतींत दाखविल्या प्रमाणें व ड दिशेंत घडेल, तर १२५ व्या आकृतीप्रमाणें, अ ल उतरणीस व क लंब, ल क क्षितिमर्यादरेषेस व इ लंब आणि व ड रेषेशीं इ क रेघ समांतर काढिल्यानें, शक्ति आणि वजन यांचामधील प्रमाण काढितां येईल; कारण व ड आणि व इ या दोन रेघा जा प्रेरणा दाखवितात, त्या अनुक्रमें प आणि व या दोन प्रेरणांचा बरोबर आहेत, आणि या दोन प्रेरणा मिळून व क कर्ण होतो तो उतरणीवरचा सर्व भाराचा दर्शक आहे. जर उतरण काढून तिचा जागीं दुसरी एक प्रेरणा व ब दिशेंत लागू केली, ती प्रेरणा र दाखवितो, आणि तिचा योगानें वजन स्थिर राहतें, तर त्याच प्रेरणेचा योगानें उतरणीचा **प्रत्याघात** दाखवितां येईल. या पक्षांत व वजनास तीन प्रेरणा स्थिर ठेवितात; पहिली गुरुत्व प्रेरणा, तिचा व्यापार व इ दिशेंत घडतो; दुसरी प शक्ति तिचा व्यापार व ड दिशेंत घडतो; आणि तिसरी उतरणीचा प्रत्याघातरूप प्रेरणा, तिचा व्यापार व ब लंबाचा दिशेंत घडतो. जर शक्तीचा व्यापार उतरणीशीं अथवा उतरणीचा पायाशीं समांतर घडतो, तर शक्ति आणि वजन यांचा मधील प्रमाण, उतरणीची उंची आणि पाया, यां-

आकृति १२६.



चा मधील प्रमाणाबरोबर होईल. पुढें दाखविलेल्या १२७ व्या आकृतींत **व** वजन आणि **ड** शक्ति आहे, आणि तिचा व्यापार पायाशीं समांतर **व ड** दिशेंत घडतो; तर वरचा उदाहरणाप्रमाणें शक्ति आणि वजन यांचा मधील प्रमाण काढितां येईल. यावरून असें दिसून येईल

आकृति १२७.

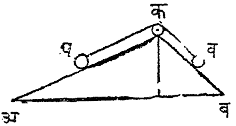


कीं **व ड** जशी **व प** रेघेला प्रमाण, अथवा **अ क** जशी **ब क** रेघेला प्रमाण, ह्मणजे उतरणीचो **उंची** जशी तिचा **पायाला** प्रमाण, आहे, तशी **ड** शक्ति **व** वजनास होईल.

वर दाखविलेल्या १२५ व्या आकृतीप्रमाणें, जेव्हां शक्तीचा व्यापार उतरणीशीं समांतर घडतो, तेव्हांच त्यापासून मोठा स्वार्थ होतो असें वरचा उदाहरणावरून लक्षांत येईल; कारण जर १२६ व्या आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें शक्तीचा व्यापार **तिर्कस** घडेल, तर वजनास वर उचलण्याकरितां शक्तीचा कांहीं अंश खर्चावा लागेल आणि जर १२७ व्या आकृतीप्रमाणें शक्तीचा व्यापार उतरणीचा **खालीं** ह्मणजे तिचा पायाशीं समांतर दिशेंत घडेल, तर वजनास उतरणीवर दाबून धरण्याकरितां शक्तीचा कांहीं अंश खर्चावा लागेल; परंतु जर शक्तीचा व्यापार सपाटीशीं **समांतर** घडेल, तर **सर्व** शक्ति वजनास उतरणीवरून **वर** ओढण्यास लागू होईल; आणि जेव्हां शक्ति उतरणीचा **वर** किंवा **खालीं** लागू होये, तेव्हां अशी गोष्ट घडत नाहीं, कारण तिचा कांहीं अंश मात्र उपयोगास लागतो.

एका उतरणीवरील वजनास दुसऱ्या उतरणीवरील वजनानें तोलून धरितात; या पक्षांत ज्या उतरणीवर तीं वजनें असतात, त्या उतरणींचा पायांचा प्रमाणानें तीं वजनें असतात. १२८ व्या आकृतींत दोन उतरणी दाखविल्या आहेत, त्यांची उंची सारिखी असून त्यांचे उतार सारखे नाहींत; व आणि प हीं दोन वजनें या उतरणींवर आहेत, तीं एका दोरीस बांधून ती दोरी क कप्पीवरून सोडिली आहे. लांब उतरणीची लांबी अ पासून क पर्यंत २ फुटी आणि तोंकड्या उतरणीची लांबी ब पासून क पर्यंत १ फूट असेल, तर तोंकड्या उतरणीवर व स्थळीं ४ शेर ठेविल्यानें लांब उतरणीवर प स्थळीं ८ शेर तोलून धरितां येतील, आणि याचसारिखें दुसऱ्या कोणत्याही प्रमाणानें घडेल. एकाशीं एक लागलेल्या उतरणींवरून ओझीं चढविण्याची ही रीति, मोठमोठ्या कामांत घेतात, त्या ठिकाणीं निरानिराळ्या उताराचे लोखंडी रस्ते केलेले असतात, त्यांचा योगानें एक भरलेला गाडा एका उतरणीवरून खालीं येतो, आणि त्याचा योगानें दुसरा भरलेला किंवा रिकामा गाडा दुसऱ्या उतरणीवरून वर चढतो.

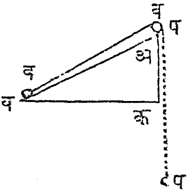
आकृति १२८.



विर्तुअल् विलोसितीचा नियम उतरणीस लावितां येईल. एका उतरणीवर दोन प्रेरणा परस्परांस तोलून धरितात, त्यांस जर चलन दिलें, तर शक्ति आणि तिचें गमनस्थळ यांचा गुणाकार, आणि वजन आणि त्याचें गमन

जा उंचींतून होतें, यांचा गुणाकार, हे दोनही बरोबर होतील असें या पुढील उदाहरणावरून दिसेल. अ ब एक उतरण आहे, (आकृति १२९) व वजन उतरणीचा पायाशीं ब जवळ आहे, आणि प शक्ति उतरणीचा शिराशीं आहे. नंतर वजन उतरणीचा शिराशीं येईपर्यंत शक्ति खालीं ओढिली, तर उतरणीचा उंचीइतक्या स्थळांतून वजन वर चढेल, आणि जितका दोर

आकृति १२९.

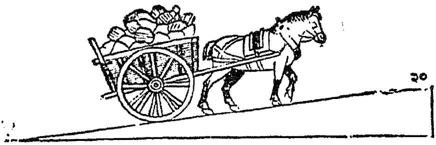


कप्पीवरून जातो तितक्या स्थळांतून शक्ति चालेल; ह्मणजे उतरणीचा लांबीइतकी चालेल. यावरून प आणि त्याचें गमनस्थळ यांचा गुणाकार आणि व आणि जा उंचींतून त्याचें गमन होतें तें स्थळ, यांचा गुणाकार, हे दोनही बरोबर होतील. उदाहरण, उतरणीची उंची १ फूट, तिची लांबी ५० फुटी, व वजन ५० शेर आणि प शक्ति १ शेर असेल, तर प शक्ति ५० फुटींतून खालीं उतरेल आणि व वजन १ फूट उभें चढेल. इतर मूळ यंत्रांप्रमाणें उतरणीपासून जितका शक्तीचा नफा होतो, तितका वेगाचा तोटा होतो.

रस्त्याचा कांहीं भागांत जी त्याची उंची असत्ये, त्यावरून त्या रस्त्याचा उताराची गणना करितात; उदाहरण, रस्त्याचा उताराचा २० फुटी लांबींत जर त्यास एक फुटीचा चढाव असेल, तर तो रस्ता २० फुटांत एक फूट चढतो असें ह्मणतात. जा टेंकडीचा

चढाव २० फुटांत एक फूट उसतो, त्या टेंकडीवरून जर घोडा गाडा ओढील, (आकृति १३०) तर त्या गाड्याचा वजनाचा एक विसांश मात्र ओढावा लागेल; कारण जरी गाडा २० फुटीवरून जातो, तथापि तो १ फूट उंच चढतो.

आकृति १३०.



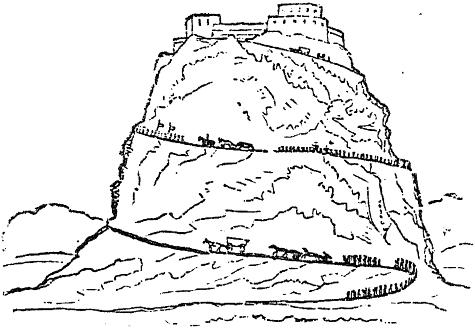
जर एक उतरण ६४ फुटी उंच आणि ६४ चे तिप्पट ह्मणजे १९२ फुटी लांब आहे, तर तिजवरून सोडलेला गोल ६ सेकंदांत बुधाशीं येईल; कारण गुरुत्वाचा योगानें तो पहिले सेकंदांत १६ फुटींतून जातो, त्यास २ हांचा वर्ग ह्मणजे ४ यांणीं गुणिलें असतां गुणाकार ६४ होतो, तो उंचीबरोबर आहे, यावरून त्यास उतरणीचा उंचीवरून पडण्यास २ सेकंद लागतील, परंतु उतरणीची लांबी तिचा उंचीचे तिप्पट आहे यावरून त्या लांबीवरून खालीं येण्यासही तिप्पट सेकंद ह्मणजे ६ सेकंद लागतील.

उतरणी अथवा उतरत्या टेंकड्या यांचा शक्तीचें परिमाण सर्व पक्षांत या पुढील प्रमाणरीतीवरून काढितां येईल; उदाहरण, जी उतरण १५ फुटी लांबींत ६ फुटी चढत्ये, तिजवर २७५ शेरांचें वजन तोलून धरण्यास

किती शक्ति लागेल हें जाणायाचें असेल, तर प्रमाण याप्रमाणें होईल; जशा १५ फुटी : ६ फुटी :: ३७५ शेर चवथ्या पदास ह्मणजे, १५० शेरांस होतील, हें इच्छिलें उत्तर आहे. या वर आलेल्या शक्तीनें वरचा सारिख्या उतरणीवर किती वजन उचलितां येईल, याची गणना करायाची असेल, तर प्रमाण उलटें होईल; जसें, ६ फुटी : १५ फुटी :: १५० शेर : ३७५ शेरांस; सर्व सरूप आकृति त्रिकोणांत जें प्रमाण असतें, त्यावरून जा टेंकडीची अथवा उतरणीची सपाटी सारिखी आहे, तिचा शक्तीची गणना करण्यासाठीं, टेंकडीचा अथवा उतरणीचा कांहीं अंश घेतला तरी चालेल; कारण १२७ व्या आकृतींत **अ ब** सपाटीचा लांबीचा अर्धाबरोबर **अ क** बाजू आहे, ह्मणून **व प** रेघ **व ब** रेघेचे अर्धाबरोबर होईल. यावरून उतरणीची शक्ति काढण्यासाठीं तिचा लहान किंवा मोठा भाग घ्यावा, आणि त्या भागांत जितका चढाव असेल तो मात्र गणनेंत आणावा; समपातळी मापण्याचीं यंत्रें असतात, त्यांचा योगानें टेंकड्यांचा चढाव चांगला काढितां येतो.

दुसऱ्या यंत्रांचा योगानें मोठीं वजनें उचलण्यांत सहाय होण्यासाठीं तयार केलेल्या उतरणी कामांत आणितात; **ईजिप्त** देशांतील **पिरमिड** आणि त्या सारिख्या दुसऱ्या पुरातन मोठ्या इमारतींचा कामांत, जे मोठाले दगड आणिले आहेत, ते मातीचा अथवा लांकडाचा उतरणी करून, त्यांवरून वाटोळ्या लाटा आणि उचालक यांचा सहायानें वर चढविलेले असावे. जी टेंकडी फार उभी असत्ये ति-

चावर सहज चढवत नाहीं, याजकरितां तिचा भोंवतालीं प्रदक्षिणारूप वाटोळा अथवा नागमोडी रस्ता करितात. बाजूवरील आकृति पा-



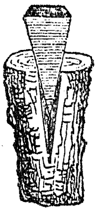
हा;– डोंगरावरचा रस्त्यावरून ओझें ओढणाऱ्या घोड्यास रस्त्यानें समोर नेऊं नये, रस्त्याचा एका बाजूवरून दुसऱ्या बाजूस नेत नेत वर चढावें, तेणेंकरून घोड्यावर जो ताण येतो तो पुष्कळ कमी होतो. सर्व प्रकारचे जिने उतरणी आहेत, आणि त्या उतरणींवर चढतांना पाय ठेवण्यास चांगलें ठिकाण असावें ह्मणून सपाटस्थळें ह्मणजे पायऱ्या करितात. मोठीं गलबतें समुद्रांत लोटण्यासाठीं अथवा जमीनीवर घेण्यासाठीं उतरणी केलेल्या असतात.

अध्याय ११.

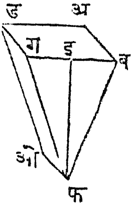
पाचर.

गणिताचा भाषेंत पाचरेस **त्रिकोण प्रिज्म** ह्मणतात; पाचर लांकडाची लोखंडाची अथवा दुसऱ्या कांहीं धातूची भरींव असते, आणि तिचा उपयोग सामान्यतः लांकूड चिरण्यांत करितात, लांकुडांत पूर्वीं चीर केलेली असत्ये, त्यांत पाचर घालून (आकृति १३१) तिचा डोक्यावर हातोडा अथवा मोगर यांचा लंबरूप आघातानें तीस लांकडांत सारितात. बाजूवरील १३२ व्या आकृतींत पाचरेचा **अ ब ग ड** डोक्याची सर्व जाडी **अ ड** आहे, आणि प्रेरणेची योजना त्याच ठिकाणीं घडत्ये; **इ फ** पाचरेची उंची, **ब फ** पाचरेचा एका बाजूची लांबी, आणि **फ ओ** पाचरेची धार आहे. १३२ व्या आकृतींत जी पाचर दाखविली आहे, तिजपेक्षां १३१ व्या आकृतींतील पाचर दोन पदार्थांमध्यें सहज जाईल; परंतु जी पाचर मोठ्या प्रयासानें जात्ये, तिजपेक्षां या पाचरेचा योगानें पदार्थ कमी चिरेल हें स्पष्ट आहे. १३१ व्या आकृतींतील लहान पाचरेपासून थोडकें फळ होतें, परंतु तिला थोडा प्रतिबंध प्राप्त होतो; आणि १३२ व्या आकृतींतील मोठ्या पाचरेपासून मोठें फळ होईल, परंतु तिला प्रतिबंधही मोठा प्राप्त

आकृति १३१.



आकृति १३२.



होईल. पाचरेचे यांत्रिक सामर्थ्याची गणना करितांना ही पुढील रीति कामांत आणितात. पाचरेचा डोक्याची रुंदी जशी पाचरेच्या एका बाजूस प्रमाण, तशी शक्ति पाचरेच्या एका बाजूच्या प्रतिबंधास प्रमाण होईल; पाचर आणि तिला जो प्रतिबंध होतो, या दोहों मधील प्रमाणाची गणना बरोबर करण्यास फार कठीण; कारण शक्ति ह्मणजे जे टोले मारितात ते, त्यांची सख्या आणि प्रतिबंधाचा जातीचे भेद हीं सर्व गणना करण्याचीं साधनें आहेत; उदाहरण, नरम देवदारी लांकडापेक्षां चिवट खैराचें अथवा वाभळीचें लांकूड चिरण्यास अधिक शक्ति लागते. मोठ्या उताराचा उतरणीवरून जड पदार्थ वर लोटण्यास जसा फार श्रम पडतो, त्याचप्रमाणें मोठ्या कोनाचा पाचरेस पुढें लोटायास फार शक्ति लागत्ये. जरी पाचरेचा कोनाचें माप दिलें असलें आणि प्रत्येक टोल्याचा सामर्थ्याची गणना करितां आली, तरी सामान्य पक्षीं पाचरेचा यांत्रिक शक्तीची गणना करण्यास कठीण. लांकूड, दगड इत्यादि पदार्थ चिरतांना त्यांचे चिरलेले भाग उच्चालकासारिखे होऊन, पाचरेचा जाण्यास मार्ग करितात, तेणेंकरून पाचरेची शक्ति अवश्य वाढत्ये. पाचरेचा **शास्त्रार्थास** गणितरूप विचार फार लागतो, आणि तो व्यवहारांत अनुभवास येत नाहीं, ह्मणून तो येथें लिहिला नाहीं.

व्यवहारांत जितक्या तऱ्हांनीं या यंत्राची योजना आहे, त्यापेक्षां अधिक तऱ्हांनीं दुसऱ्या कोणत्याही यंत्राची यो-

जना नाहीं. विंधणीं, खिळे, सुया, कुऱ्हाडी, तरवारी इत्यादि हत्यारांस पाचरेचा मूळ आधार आहे, जेव्हां इतर मूळ यंत्रें लागू पडत नाहींत, तेव्हां पाचरेचा उपयोग अनेक प्रकारांनीं करितात. पाचरेचा प्रेरणा मुख्यत्वेंकरून टोल्यांनीं घडत्ये हें वरचा गोष्टीचें कारण आहे; उच्चालकावर भार घालण्यापेक्षां एकाद्या टोल्याचा वेगाघात फार अधिक असतो. पाचरेची शक्ति अतिशय असत्ये हें दाखविण्यासाठीं अनुभविक उदाहरण लिहितों. मोठालीं गलबतें सुकया जमीनीवर असतात, त्यांचा बुंधाखालीं पाचरा ठोकल्यानें तीं सहज उचलितां येतात. उंच दिपमाळा अथवा इमारती जमीनीचा ओलेपणामुळें एक बाजूस तोलतात, त्यांचा त्या बाजूत पाचरा ठोकून त्यांस सरळ करितात. पाचरेचा उपयोग दगड सोडविण्यांत करितात; कारण उच्चालक, आंसासखिळलेलेंचाक, अथवा कप्पी यांचानें हें कृत्य होण्यास अशक्य; धक्का अथवा टोला यांचा योगानें दगडाचे डकलेले अवयव हलतात आणि तेणेंकरून ते सहज निराळे होतात. मैसूरचा राज्यांतील संगमरवरी दगड अथवा ज्या प्रांतांत मोठ्या जात्याचे दगड निघतात, ते सोडवितांना दगडांचा बाजूस भोकें करून त्यांत सुक्या लांकडाचा पाचरा मारितात; नंतर जमीनीचा ओलेपणामुळें अथवा वर पाणी घालून त्या पाचरा फुगवितात, तेणेंकरून एक किंवा दोन दिवसांत सगळा दगड फुटल्यावांचून सुटतो. घरें बांधणारे परांचा बांधिल्येसमयीं दोर अडच होण्याकरितां परांचीचे वांसे आणि त्यांस बांधलेले दोर यांमध्यें पाचरा मारितात.

जेव्हां कांहीं वस्तु चाकूनें चिरतात, तेव्हां तो पाचरेसारिखा आहे असें मानितां येईल; परंतु जर सूक्ष्मदर्शक यंत्रानें चाकूची धार पाहिली, तर ती बारीक करवतीसारिखी आहे असें दिसेल, आणि अनुभवासही तशीच गोष्ट येते, ह्मणजे जो पदार्थ चिरायाचा असतो त्याजवर चाकूचा धारेनें पाचरेप्रमाणें व्यापार केला, तर जें फळ दिसून येतें, त्याजपेक्षां, त्या पदार्थावर चाकू घांसला असतां अधिक फळ होतें.

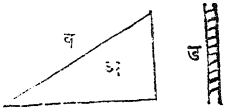
मोठाले लोखंडाचे आणि तांब्याचे खिळे ठोकल्यानें आणि नुसत्या भारानें किती जातात, याविषयीं **पोर्तस्मौथ** येथील गोदींत जे प्रत्यक्ष प्रयोग केले आहेत, त्यांवरून असें दिसून आलें आहे कीं, जा हातोड्याचा दांडा ४४ इंच लांब आणि त्याचें वजन २७ शेर आहे, त्याचा योगानें सामान्य पक्ष बळकट मनुष्य, एक जाडा खिळा प्रत्येक टोल्यास एक अष्टमांश इंच लांकडांत घालवितो; आणि जर त्या खिळ्यावर सुमारें ४२८ खंडींचें वजन ठेविलें, तर तो तितकाच आंत जाईल; परंतु हें वजन किंचित् वाढविलें असतां तो खिळा अगदीं आंत जाईल.

अध्याय १८.

मळसूत्र.

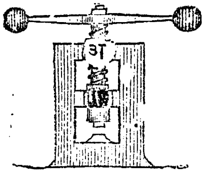
खरें ह्मटलें असतां मळसूत्र हें साधें यंत्र नव्हे; कारण त्यास फिरविण्यास दांडा अथवा उच्चालक असल्यावांचून, त्याचा उपयोग करवत नाहीं; दांड्याचा उपयोग केल्यावर पदार्थ दाबण्याविषयीं अथवा मोठीं वजनें उचलण्याविषयीं तें मोठ्या सामर्थ्याचें मिश्र यंत्र होतें. उतरणीचा रूपभेद मळसूत्र आहे, हें समजण्याकरितां अ कागदाचा तुकडा, १३३ व्या आकृतीप्रमाणें उतरणीचा आकारासारिखा कापावा, आणि तो ड दांड्यास गुंडाळावा, ह्मणजे त्याची ब धार मळसूत्राचें सर्पाकृति सूत्र दाखवील. तो कागद दांड्याभोंवतीं असतां त्याचा आकार १३४ वी आकृति दाखवित्ये. उतरण आणि पाचर यांत, वजन अथवा प्रतिबंध यांस त्यांचा सपाटीवर ठेवितात, त्याप्रमाणें मळसूत्राची योजना करित्ये समयीं, त्याचा सपाटीवर ह्मणजे सूत्रावर वजन अथवा प्रतिबंध ठेवित नाहींत. शक्तीचा व्यापार दुसऱ्या एका मळसूत्राचा योगानें लागू होतो, त्यास फिरकी अथवा चाकी ह्मणतात, आणि त्यांतून हें मुख्य मळसूत्र फिरतें. चाकी ह्मणजे एक पोकळ वाटोळी नळी असत्ये, तिचा आंतील बाजूस सर्पाकृति चीर असत्ये, तींत मुख्य मळसूत्राचें सूत्र बरोबर बसतें.

आकृति १३३. आकृति १३४.

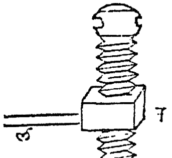


या यंत्राचा योगानें शक्तीचा व्यापार प्रतिबंधावर लागू होण्यासाठीं, मळसूत्र किंवा त्याची **चाकी** यांतून कोणतेंही एक **अचर** असलें पाहिजे. जर **चाकी** अचर असली, तर मळसूत्राचा एका टोंकांत जो उच्चालक घातला असतो, त्याणे तें मळसूत्र शेवटास जाईपर्यंत फिरविलें पाहिजे; आणि जर **मळसूत्र** अचर असलें, तर त्याचा एक शेवटापासून दुसऱ्या शेवटाशीं येईपावेतों, ती **चाकी** उच्चालकानें फिरविली पाहिजे. १३५ व्या आकृतींत **अ चाकी** अचर आहे असें दाखविलें आहे. जर मळसूत्र सुलटें फिरवील तर तें खालीं जातें असें दिसेल, परंतु **चाकी** स्थिर राहील. १३६ व्या आकृतींत **मळसूत्र** अचर आहे असें दाखविलें आहे; त्याची **न** चाकी **ल** उच्चालकानें डाव्येकडून उजव्येकडे फिरविली असतां ती मळसूत्रावरून खालीं येईल. मळसूत्रापासून जो नफा होतो त्याची गणना करित्ये समयीं दोन गोष्टींचा विचार केला पाहिजे, प्रथम, ज्या दांड्यावर मळसूत्र केलें असतें त्याचा परिघ आणि त्या मळसूत्रांमधील अंतर. मळसूत्राचा एका फेऱ्यापासून दुसऱ्या फेऱ्यापर्यंत वजन अथवा प्रतिबंध जाण्याचा पूर्वी, मळसूत्राचा दांडा एक वेळ फिरविला पाहिजे हें उघड आहे; ह्मगून मळसूत्र फिरविणारा दांडा फिरविण्यानें जें वर्तुळ होतें,

आकृति १३५.



आकृति १३६.



त्याचा परिघ, मळसूत्राचा सूत्रांतील अंतरापेक्षां जितका मोठा असेल तितकी मळसूत्राची शक्ति अधिक होईल.

यावरून असें दिसतें कीं फिरविण्याचा दांडा जितका लांब असेल आणि मळसूत्राचीं सूत्रें जितकीं अतिजवळ असतील, तितकी त्या मळसूत्राची शक्ति अधिक होईल; ह्मणून या यंत्राचें यांत्रिक सामर्थ्य वाढविण्यासाठीं जा उच्चालकानें शक्ति लागू होते त्याची लांबी वाढवावी, अथवा सूत्रांमधील अंतर कमी करावें. उदाहरण, सारख्या परिघाचा दांड्याचीं दोन मळसूत्रें आहेत, त्यांत जर एकाचे सूत्रांमधील अंतर १ इंच आणि दुसऱ्याचे सूत्रांमधील अंतर २ इंच असेल तर, उतरणीचा मूळ कारणाचा विचार केल्यानें असें दिसेल, कीं जा मळसूत्राचा सूत्राचें अंतर २ इंच आहे, त्यापेक्षां जाचे सूत्राचें अंतर १ इंच आहे त्यापासून तिप्पट नफा होईल. जर दोन उतरणींची उंची सारिखीच आहे, परंतु त्यांतून एका उतरणीचा पायाचा तिप्पट दुसरीचा पाया आहे, तर लांब पायाचा उतरणीपासून जो यांत्रिक नफा होईल, तो दुसरीचा नफ्याचा तिप्पट होईल. परंतु त्या उतरणीचा उंचीवर पोंचण्यास तितका काळ अधिक लागेल हें पूर्वीं दाखविलें आहे. कांहीं अवकाशांतून जाण्यास २ इंच सूत्रांतराचा मळसूत्रास जितक्या वेळा फिरावें लागेल, त्याचा तिप्पट वेळा १ इंच सूत्रांतराचा मळसूत्रास त्याच स्थळांतून जाण्यास फिरावें लागेल, असें वरची गोष्ट मळसूत्रास लागू केल्यानें दिसेल. यावरून जा स्थळांतून गमन घडतें अथवा जो काळाचा तोटा होतो,

तो नफ्याशीं प्रमाणांत असतो; यावरून २ इंच सूत्रांतराचा मळसूत्रापासून जो नफा होतो, त्याचा तिप्पट नफा १ इंच सूत्रांतराचा मळसूत्रापासून होईल.–

उच्चालक न लावलेल्या नुसत्या मळसूत्राचें सामर्थ्य या पुढील रीतीनीं काढितां येईल. मळसूत्राचा परिघास, जसें सूत्रांचा मधील अंतर प्रमाण, तसें शक्तीस वजन होईल. परंतु उच्चालकाशिवाय या यंत्राचा क्वचित् उपयोग करितात, ह्मणून उच्चालकाचा बाहेरील टोंकाचा फिरण्यानें जो परिघ होतो त्यास मळसूत्राचा परिघाचा ठिकाणीं घेतात. मळसूत्र आणि उच्चालक यांचा संयोग झाला असतां मळसूत्राचा खऱ्या शक्तीची गणना करण्याची असल्यास, उच्चालकाचा फिरण्यानें जें वर्तुळ होतें त्याचा परिघास शक्तीनें गुणावें, यावरून, शक्ति आणि तिचा फिरण्याचा परिघ यांचा गुणाकार, आणि वजन अथवा प्रतिबंध आणि दोन सूत्रांमधील अंतर यांचा गुणाकार, हे दोनही बरोबर होतात.

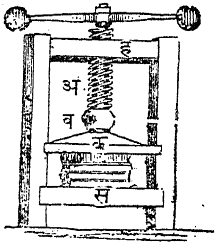
यावरून जर मळसूत्रास जोडिलेल्या उच्चालकाची लांबी, मळसूत्राचा सूत्रांमधील अंतर, आणि उचलावयाचें वजन हीं ठाऊक असलीं, तर शक्ति किती लागेल याची गणना करितां येईल; अथवा एकादें मळसूत्र किती वजन उचलील हें जाणावयाचें असेल, तर शक्ति, सूत्रांमधलें अंतर, आणि उच्चालकाची लांबी यांचा ठराव प्रथम केला पाहिजे. ज्या मळसूत्राचा सूत्रांमधील अंतर अर्ध इंच आहे, आणि त्यास लावलेल्या उच्चालकाची लांबी ६ फुटी आहे, यावरून त्या मळसूत्रानें किती नफा होतो याची गणना

करितों. जर वर्तुळाचा परिघ काढण्याकरितां, त्याची त्रिज्या दिली असेल, तर त्या त्रिज्येस ६ नीं गुणावें, कारण वर्तुळाचा त्रिज्येचे ६ पटीपेक्षां त्याचा परिघ कांहींसा मोठा असतो, परंतु हें प्रमाण व्यवहारी कामास पुरेसें होतें, ह्मणून तो परिघ त्रिज्येचे ६ पट हेंच प्रमाण येथें घेतलें आहे. वर सांगितलेला उच्चालक ६ फुटी आहे, ह्मणून त्याचा फिरण्यानें जें वर्तुळ होतें त्याचा परिघ ६ फुटींस ६ नीं गुणिलें इतक्या बरोबर, ह्मणजे ३६ फुटी अथवा ४३२ इंच आहे. परंतु एक फेऱ्यांत मळसूत्र अर्ध इंच मात्र वर चढतें, यावरून वजनाचा गमनस्थळाचा ८६४ पट फिरविणाऱ्या शक्तीचें गमनस्थळ होईल; यामुळें या मळसूत्रापासून ८६४ नफा होईल; अथवा उच्चालकास १ शेर लागू केला असतां, मळसूत्राशीं ८६४ शेर तोलितां येतील. यावरून असा निश्चय होतो, कीं मळसूत्राचा यांत्रिक सामर्थ्याची वृद्धि करण्याचे दोन मार्ग आहेत; जा उच्चालकानें मळसूत्र फिरवितात त्याची लांबी वाढविल्यानें; अथवा त्याचा सूत्रांमधील अंतर कमी केल्यानें. आतां अशी कल्पना करावी कीं मळसूत्राचीं सूत्रें इतकीं बारीक आहेत कीं त्यांतून कोणत्याही दोहोंमधील अंतर पाव इंच आहे, आणि त्या मळसूत्रास फिरविणाऱ्या उच्चालकाची लांबी १० फुटी ह्मणजे १२० इंच आहे, या उच्चालकाचा फिरण्यानें जें वर्तुळ होईल, त्याचा परिघ १०×६=६० फुटी, ह्मणजे ७२० इंच, ह्मणजे २८८० पाव इंच आहे. आणि मळसूत्राची उंची पाव इंच आहे, ह्मणून वजनाचा गमनस्थळाचा २८८० पट स्थळांतून

शक्तीचें गमन होईल; यावरून उच्चालकाचा शेवटाशीं १ शेराची शक्ति लागू केली असतां २८८० शेर उचलितां येतील. मळसूत्राचा भागांचें घर्षण इतकें आहे कीं शास्त्रार्थप्रमाणें जें त्याचें फळ व्हावें, त्यापेक्षां व्यवहारांत फार थोडें दिसून येतें, ही गोष्ट येथें सांगितली पाहिजे; कारण यंत्राचें घर्षण नाहींसें करण्यासाठीं सर्व शक्तीचा एक तृतीयांश मिळवावा लागतो.

मोठा भार उत्पन्न व्हावा व त्या भाराची क्रिया सारिखी व्हावी, आणि तो भारही तसाच राहावा याविषयीं सर्व मूळयंत्रांत मळसूत्रावांचून दुसरें चांगलें साधन नाहीं; कारण उच्चालकाची क्रिया निरंतर बदलत जात्ये, आणि त्यापासून जो भार उत्पन्न होतो, तो कालांतरानें घडतो; परंतु मळसूत्राचा व्यापार सर्वदा सारिखा एकाच दिशेंत घडतो, आणि तो कधींही बदलत नाहीं.

आकृति १३७.

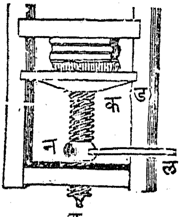


बाजूवरील १३७ वीं आकृति स्थिर चापणी आहे, ती चापणी बुकें बांधणारे बुकें दाबण्याकरितां कामांत घेतात; आणि मळसूत्रानें मोठा भार उत्पन्न होतो हें दाखविण्याचें हें चांगलें उदाहरण आहे.

मळसूत्राचा टोंकावर जो आडवा उच्चालक बसविला आहे त्याणें तें मळसूत्र फिरवितात; त्याचा खालचा टोंकास क फळें बसविलें आहे, त्याचा योगानें भार घालितात; ह्मणून जेव्हां मळसूत्र

एका बाजूनें फिरवितात तेव्हां स फळयावर जीं बुकें असतात त्यांवर भार पडतो, आणि तेंच मळसूत्र दुसऱ्या बाजूनें फिरविलें, तर तो भार नाहींसा होतो. या पक्षांत चाकीचा ठिकाणीं ह आडवें लांकूड आहे, आणि तें स्थिर आहे ह्मणून चाकी स्थिर आहे. पुढील १३८ व्या आकृतींत मळसूत्र स्थिर आहे आणि चाकी फिरत्ये. यंत्राचा चवकटीमध्यें ड फळें खालींवर होतें, आणि त्यास क ब मळसूत्र खालींवर करितें;

आकृति १३८.

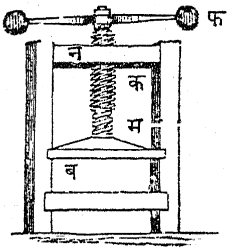


क ब मळसूत्र खालींवर होतें, परंतु वाटोळें फिरत नाहीं. न चाकी ल उच्चालकानें फिरत्ये, आणि ती वाटोळी मात्र फिरत्ये, मळसूत्राबरोबर खालीं वर जात नाहीं. चाकीस एक पूर्ण वेढा दिला असतां, मळसूत्राचा जवळ जवळचा दोन सूत्रांमधील अंतराइतक्या स्थळांतून मळसूत्र खालीं किंवा वर होतें.

शक्तीचा फिरण्यानें जें वर्तुळ होतें, त्याचा परिघ आणि मळसूत्राचा जवळ जवळचा दोन सूत्रांमधील अंतर, यांत जें प्रमाण असतें, त्यावरून कांहीं दिलेल्या शक्तीनें मळसूत्रांत किती वजन उच्चलण्याचें सामर्थ्य आहे हें कळतें असें पूर्वींच सांगितलें. यावरून जा उच्चालकाचा योगानें शक्ति लागू होत्ये, त्याची लांबी वाढविली असतां, अथवा मळसूत्राचीं सूत्रें बारीक करून जवळ जवळ केलीं असतां, मळसूत्राचा यांत्रिक स्वार्थाची वृद्धि करितां येईल हें उघड आहे. या दोन उपायांनीं यां-

त्रिक स्वार्थाची वृद्धि करण्यास शास्त्ररीत्या जरी मर्यादा नाहीं, तथापि व्यवहारांत उच्चालकाची लांबी वाढविल्यानें बहुधा अडचणी येतात; कारण त्या उच्चालकाचा टोंकावर शक्ति लागू होऊन तिला फिरण्यास जें स्थळ पाहिजे, तें फारच मोठें पडेल आणि दुसऱ्या तऱ्हेनें पाहिलें ह्मणजे जर मळसूत्राचीं सूत्रें बारीक केलीं, तर त्यांचा आंगीं इच्छिलें वजन धरण्याचें सामर्थ्य राहणार नाहीं. १२५ पृष्ठावर जो आंसास खिळलेल्ये चाकाचा प्रकार सांगितला, त्यांत लहान प्रेरणेनें मोठी प्रेरणा संभाळिली जावी ह्मणून आंसाचा एक भाग दुसऱ्या पेक्षां जाडा केला आहे; त्याच कारणावरून वरची अडचण चुकविण्यासाठीं हंतर साहेबानें एक कुशळतेची युक्ति काढिली आहे. या कल्पनेंत दोन मळसूत्रें असतात, त्यांतून एक दुसऱ्याचा आंत फिरतें. जा दोन निरनिराळ्या मळसूत्रांपासून हें मळसूत्र झालें असतें, त्यांचा सूत्रांचा अंतरांवरून याचा यांत्रिक सामर्थ्याचा विचार होत नाहीं, परंतु त्या दोन अंतरांचे वजाबाकीवरून घडतो. यावरून जर त्या दोन मळसूत्रांचा सूत्रांचा जाडींत फार अंतर नसलें, तर त्या सूत्रांस पाहिजे तितकी बळकटी व जाडी देतां येईल. १३९ वी आकृति तशा मळसूत्राची आहे. **क** मोठें मळसूत्र, **न** स्थिर चाकींत फिरतें. हें मोठें मळसूत्र पोंकळ असतें, त्याचा आंतील भाग चाकीप्रमाणें

आकृति १३९.

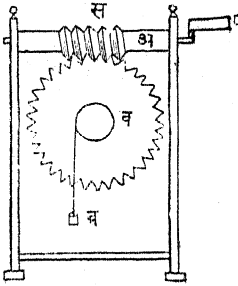


असतो, आणि त्या चाकीचीं सूत्रें म मळसूत्राचा सूत्रांशीं मिळतीं असतात; भार घालण्याची ब फळी जी खालीं वर होये, तीस हें धाकटें मळसूत्र बसविलेलें असतें. मळ-सूत्राचा प्रत्येक फेऱ्यानें क पोकळ मळसूत्र आपल्या जवळ जवळचा दोन सूत्रांचा अंतराइतक्या स्थळांतून खालीं जातें. म भरींव मळसूत्र आपल्या सूत्रांचा अंतरा-इतक्या स्थळांतून वर चढतें; यावरून ब फळी आणि तीस बसविलेलें म मळसूत्र हीं, दोन मळसूत्रांचा सूत्रां-तील अंतराइतक्या स्थळांतून खालीं जातात. हा परि-णाम उभयतांचा एकत्रव्यापारापासून घडतो. जर या दोन मळसूत्रांचीं सूत्रें अगदीं सारिखीं असलीं आणि जर फ उच्चालकास कांहीं शक्ति लागू करून क मळसूत्र फिरविलें, तर ब फळें आपल्या ठिकाणींच राहील; कारण लहान मळसूत्र जितकें वर येतें, तितकेंच मोठें मळसूत्र खालीं जातें. परंतु जर मोठ्या क मळसूत्राचा सूत्रांतील अंतरापेक्षां धाकट्या म मळसूत्राचा सूत्रांतील अंतर लहान असेल, तर, क मळसूत्राचा दोन सूत्रांतील अंतर आणि म मळसूत्राचा दोन सूत्रांतील अंतर, या दोहोंचा अंतरा-इतक्या स्थळांतून फ उच्चालकाचा एक फेऱ्यानें ब फळें खालीं जाईल. यावरून जा साध्या मळसूत्राचे सूत्रां-तील अंतर, अशा दोन मळसूत्रांचे सूत्रांतील अंतरांचे वजाबाकी बरोबर आहे, त्या मळसूत्राचे फळावरोबर या जोड मळसूत्राचें फळ होईल हें उघड आहे; आणि या-मुळें दोन मळसूत्रांचे सूत्रांतील अंतरांचे वजाबाकीस जसा फ स्थळींच शक्तीचे फिरण्याचा परिघ प्रमाण,

तशी शक्ति वजनास प्रमाण होईल. वरचा सर्व वर्णनावरून असें लक्षांत येईल कीं या यंत्रांतील दोन मळसूत्रांचा अंतरांची वजावाकी कमी केल्यानें याचा यांत्रिक स्वार्थ वाढवितां येईल.

कधीं कधीं मळसूत्राचा सूत्राची योजना चाकी पुढें लोटण्याविषयीं नसत्ये, त्याची योजना १४० व्या आकृतींत दाखविल्याप्रमाणें चाकाचा दांत्यावर केलेली असत्ये.

आकृति १४०.



या पक्षांत मळसूत्रास **अनंतमळसूत्र** ह्मणतात, कारण त्याचा व्यापार चाकावर अमर्याद काळपर्यंत करितां येतो. या यंत्रांत दोन मूळ यंत्रांचा संयोग आहे, एक मळसूत्र आणि दुसरें आंसासखिळलेलें चाक. आडव्या अ दांड्यावर **स** मळसूत्र आहे असें मनांत आण, आणि तें **ब** चाकाचा दांत्यांत लागू केलें आहे. आणि **प** फिरविण्याचा दांड आहे, त्यास शक्ति लावितात. यांत मळसूत्राचा कोणत्याही दोन सूत्रांमधील अंतर, चाकाचा कोणत्याहि दोन दांत्यांचा अंतराबरोबर मिळालें पाहिजे; असें असल्यावर चाकाचा परिघास दोन दांत्यांचा अंतराइतक्या स्थळांतून पुढें नेण्यासाठीं मळसूत्रास पूर्ण एक फेरा दिला पाहिजे. जर **ब** चाकास सोळा दांत्ये असतील, तर **प** हातानें **अ** दांडा आणि **स** मळसूत्र एक वेळा फिरविलें असतां **ब** चाक मळसूत्राचा योगानें एक दांत्याइतकें पुढें जाईल; आणि

यामुळें दांड्याचा सोळा फेऱ्यांनीं, व चाक एक वेळा फिरेल.

मळसूत्राचे उपयोग अगणित आहेत.—रुपये, मोहोरा, पैसे इत्यादि धातूंचा तुकड्यांवर छाप उठविण्याकरितां मळसूत्राचा उपयोग करितात. सर्व छापण्याचा कामांत मळसूत्राचा उपयोग होतो. त्याचा योगानें मोठा कापसाचा गठ्या दाबून लहान गांठोड्यासारिखा होतो, आणि कापूस हा सर्व पदार्थांत हलका आणि पोकळ आहे, परंतु तो पाण्यांत बुडण्याजोगा जड होतो. कधीं कधीं लहान शक्तीची योजना मळसूत्रावर करून त्याचा योगानें मोठालीं तोललेलीं घरें नीट करितात. मळसूत्राचा योगानें लहान अंतरें मापितां येतात अथवा त्या अंतरांचे विभाग करितां येतात; यामुळें त्याचा उपयोग ज्योतिषाचे कामांत फार पडतो. साधारण मळसूत्राचा योगानें एक इंचाचे पांच हजार भाग होतात; परंतु ज्योतिषप्रकरणीं यंत्रांस जीं तिख्याचीं पाणी दिलेलीं मळसूत्रें असतात, तीं यापेक्षां फार बारिक असतात. यापक्षीं अशा मळसूत्रास **सूक्ष्ममापकमळसूत्र** असें ह्मणतात. सुताराचें भोकें पाडण्याचें **गिम्लेट**, ज्यास **गिरमिट** ह्मणतात आणि **अगर** हीं दोन हातेरें मळसूत्राचीं उदाहरणें आहेत. यांत वाटोळ्या दांड्यांचा जागीं शंकूचा आकृतीचे दांड्याभोंवतीं उतरण गुंडाळिलेली आहे असें मानितां येईल. हीं हातेरें टोंकदार असतात, यामुळें त्यांचें सामर्थ्य फार असतें. उसाचा रस काढण्याचा चरक, ज्यास मळसूत्राचा सूत्रासारिखीं सूत्रें असतात, तें या यंत्राचें अनुभविक उदाहरण आहे;

सारांश जा जा पक्षांत मोठ्या भाराची किंवा वजनाची गरज लागत्ये तेथें मळसूत्राचा उपयोग करितात.—

बूच काढण्याचें मळसूत्र हें केवळ मळसूत्राचें सूत्र आहे, सूत्र जा दांड्याभोंवतीं गुंडाळिलें असतें तो दांडा त्यांत नसतो आणि या कृत्यांत प्रतिबंध दूर करावा याजकरितां त्याचा उपयोग नाहीं, परंतु त्याणें मऊ बुचांत शिरून वळकट धरावें, हा मात्र त्याचा उपयोग आहे.— सांप्रत बूच काढण्याचीं नवीं मळसूत्रें बहुत आहेत, त्यांत दोन मळसूत्रें असतात, त्यांतून एक मळसूत्र बुचांत शिरतें आणि दुसरें त्यास बाहेर काढितें.—

अध्याय १३.

घर्षण.

यांत्रिक साधनांचा फळाची गणना करित्येसमयीं त्याचा चलन पावणाऱ्या अवयवांचें जें परस्परांवर घर्षण होतें, त्यासाठीं पुष्कळ सूट द्यावी लागत्ये असें मागें सांगितलें; परंतु यंत्रांतील घर्षणाचा परिणामाचा विचार अवश्य केला पाहिजे, ह्मणून तो विषय एका निराळ्या अध्यायांत सांगावा हें योग्य.

एका पदार्थाचा सपाटीवर दुसऱ्या पदार्थाचा सपाटीचा चालण्यानें जें फळ होतें त्यास **घर्षण** ह्मणतात ; पदार्थांचा सपाटी जरी गुळगुळीत अशा दिसतात, तरी सर्व पक्षांत त्यांवर कांहींसा खरबरीतपणा अवश्य असतो ; यामुळें जेव्हां दोन सपाट्या एकत्र होतात, तेव्हां एका सपाटीवरील उंचवटे दुसरीचा खाड्यांत जातात, आणि तेणेंकरून चलनास प्रतिबंध होतो. यंत्रांत जे अवयव एकत्र असतात त्यांचा खरबरीतपणामुळें त्या यंत्राचा निरनिराळ्या अवयवांत घर्षण उत्पन्न होतें, आणि काळेंकरून तें घर्षण भिन्नभिन्न कारणांनीं वाढतें; जसें लोखंडास तांब लागल्यानें, लांकूड मऊ असल्यानें, अथवा कुजल्यानें, आणि दोर कठीण आणि ताठ असल्यानें; दरवाजांचीं अथवा खिडक्यांचीं बिजागरें जीं फार दिवस उघडलीं अथवा हाललीं नसतात, त्यामुळें त्यांस जो जंग लागला असतो, त्याचा घर्षणानें तीं उघडण्यास कठीण जातात.

याचसारिखें एकादें जुनें तांब्र लागलेलें कुलूप तशाच जुन्या किल्लीनें उघडायाचें असल्यास कुलुपांतून किल्ली फिरविण्यास मोठा श्रम पडतो. जीं मळसूत्रें फार दिवस फिरविल्यावांचून अथवा उपयोगांत आणल्यावांचून असतात, त्यांस फिरविण्यासही फार श्रम पडतो.

लोखंड, लांकूड, वीट, दगड इत्यादि पदार्थांचे दोन दोन तुकडे घेऊन, त्यांतून एक तुकड्याची उतरण करून त्यावर त्याच जातीचा दुसरा तुकडा ठेवितात, आणि तो दुसरा तुकडा उतरणीवरून खालीं सरूं लागेपर्यंत त्या उतरणीचें एक टोंक वर करितात; अशा रीतीनें सजातीय पदार्थांचा घर्षणाची गणना करितात; उतरणीवरचा तुकडा सरकूं लागल्याचे पूर्वी उतरणीचे उताराचा जो कोन असतो, त्यास **विसांव्याचा कोन** ह्मणतात.

घर्षण पावणाऱ्या सपाटींचें घर्षण कमी करण्याचे उपाय हे पुढील आहेत. गरज लागेल त्याप्रमाणें ह्यांतून एकएकाची योजना करावी किंवा अनेकांची योजना करावी.

१. घांसणाऱ्या सपाट्या गुळगुळीत कराव्या; परंतु हा गुळगुळीतपणा कांहीं मर्यादेचा आंत असावा, कारण गुळगुळीतपणानें पदार्थ इतके जवळ येतात कीं तेणेंकरून त्या दोन पदार्थांमध्यें **स्नेहाकर्षण** उत्पन्न होतें.

२. जे पदार्थ परस्परांवर घांसणार ते निरनिराळ्या जातीचे असावे. उदाहरण, आंस तिख्याचे असतात आणि ते जांत फिरतात ते अवयव पितळेचे असतात.

घडियाळें आणि त्यांसारिखीं दुसरीं लहान यंत्रें, यांत तिख्याचे आंस अकीक अथवा हिरा यांत फिरतात. तिखें आणि वर्फ यांत अतिशय भिन्नपणा आहे, यामुळें बर्फावर चालणाऱ्या मनुष्याचा गमनांत फार त्वरा असत्ये.

३. पदार्थांचा घर्षण पावणाऱ्या अवयवांमध्यें **स्निग्ध** पदार्थ घालावे; जसें तैलादि पदार्थ धातूंत घालावे; साबू, चरबी लांकडाचा पेनशिलींत जें शिसें असतें तें, इत्यादि पदार्थ लांकडांत घालावे. साबू अथवा चरबी यांचा योगानें घर्षण नाहींसें होतें याविषयीं एक चमत्कारिक उदाहरण आहे. विलायतेंत सणाचा दिवसांत एक खेळ करितात, त्यांत डुकराचा शेंपटीस साबू लावितात, आणि ती बुळबुळीत शेंप धरून जो त्या डुकरास धांवतांना धरील त्यास कांहीं इनाम कबूल करितात. याचसारिखा **मुंबईंत** पैजांचा दिवशींहि एक खेळ करितात, त्यांत एका गुळगुळीत खांबास चरबी लावून, त्याचा टोंकास कांहीं रुपये बांधून तो खांब पुरितात, नंतर जो त्या खांबावर चढून बांधलेले रुपये घेईल त्यास ते इनाम देतात.

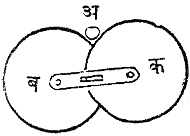
४ पदार्थांचा घांसणाऱ्या अवयवांचा विस्तार कमी करावा; जसें आंसाचा जो भाग चाकांत फिरतो तो कमी करावा;

५ पदार्थ नुसते जमीनीवरून ओढावे त्याबदल ते चाकाचा गाडीवर घालून ओढावे.

६ जांस **घर्षणचक्रें** ह्मणतात त्यांचा उपयोग करावा; त्यांचा योगानें गुळगुळीत आंसाचेंही घर्षण कमी होतें;

कारण त्या घर्षणचक्रांचा परिघांवर आंस राहतो, व तीं चक्रें त्या आंसाबरोबर फिरतात. बाजूवरील १४१ व्या आकृतींत अ आंसाचें टोक आहे, आणि ज्या घर्षणचक्रांवर तो आंस राहतो तीं ब आणि क चक्रें आहेत.

आकृति १४१.



७ जो पदार्थ ओढावयाचा असतो तो वाटोळ्या दांड्यांवर अथवा वाटोळ्या गोळ्यांवर ठेवून ओढावा. जसें, मोठें लांकूड ओढायाचें असलें ह्मणजे त्याजखालीं वाटोळीं लकडें घालून ओढितात, अथवा जेव्हां तोफेचा गाड्यास सपाट बैठक असत्ये, तेव्हां त्याचाखालीं वाटोळे गोळे घालून तो गाडा फिरवितात. या दोन पक्षांत घर्षण अगदीं नाहीं; परंतु वाटोळे दांडे अथवा गोळे यांस पुढें चालण्यास जो भूमीपासून प्रतिबंध होतो, तितकाच मात्र आहे. जे सर्व अवयव एकमेकांवर घांसतात, त्यांत जीवांचा शरीरांतील एकमेकांवर घांसणारे सांधे इत्यादि अवयवांची शक्ति, त्यांचा हालण्याची त्वरा, आणि अगणितपणा यांचा विचार केला असतां, त्यांत घर्षण फार थोडें आहे असें वाटतें. त्यांत जो या गोष्टीचा पूर्णपणा आहे, तो आपल्या ध्यानांत येऊन आश्चर्य वाटतें, परंतु केवळ त्यांचा सारिखी कृति करितां येत नाहीं.

घर्षणाविषयींचा सर्व गोष्टी चाकांचा गाड्यांपासून दिसून येतात; परंतु या लहान ग्रंथांत त्यांचें सविस्तर वर्णन करितां येत नाहीं.—

घर्षण पावणाऱ्या सपाट्यांचा खरबरीतपणा आणि भा-

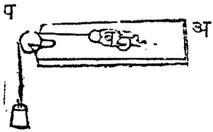
राची शक्ति हीं जशीं असतील, त्याप्रमाणें घर्षणापासून प्रतिबंध होईल, असें मागील सर्व लेखावरून कळेल. दोनही सपाटी सारिख्या असून वजन दुप्पट केलें असतां घर्षणही दुप्पट होईल; वजन तिप्पट वाढविलें तर घर्षणही तिप्पट होईल; आणि हाच नियम पुढेंही चालेल.

पदार्थांचा एकत्र होणाऱ्या सपाट्यांचा विस्ताराप्रमाणेंच केवळ घर्षणापासून प्रतिबंध होत नाहीं, असें प्रत्यक्ष अनुभवावरून कळलें आहे; परंतु पदार्थांचा जाती आणि वजनें हीं सारिखीं असतां जा सपाट्या परस्परांवर घांसतात, त्या लहान किंवा मोठ्या असल्या तरी घर्षणापासून जो प्रतिबंध होणार तो दोहोंपक्षीं सारिखाच होईल. उदाहरण, एक लांकडाचा तुकडा दुसऱ्या सपाटीवरून घांसत जातो, त्याची एक बाजू ४ इंच आहे आणि त्याची धार एक चतुर्थांश इंच आहे, त्यास मोठ्या बाजूवरून किंवा अरूंद धारेवरून ओढिला तरीं घर्षण सारिखेंच होईल; ही गोष्ट या पुढील हिसाबापासून स्पष्ट दिसेल. अशी कल्पना करावी कीं त्या तुकड्याचें वजन ४ तोळे आहे; जेव्हां त्याची मोठी बाजू खालीं असत्ये, तेव्हां वर सांगितलेलें वजन १६ चौरस इंचावर पडतें, यावरून प्रत्येक चौरस इंचावर पाव तोळ्याचा भार पडतो. यावरून १ चौरस इंचावर पाव तोळ्याचें वजन असतां जो घर्षणापासून प्रतिबंध होतो, त्याचा १६ पट प्रतिबंध या पक्षांत घडेल. आतां अशी कल्पना करावी कीं तो तुकडा धारेवर ठेविला आहे, आणि पाव इंच चौरसावर ४ तोळे अथवा १६ पाव तोळे इतकें वजन आहे. परंतु

सपाटी सारिखी असतां वजनाचा प्रमाणानें घर्षण वाढतें, असें अगोदरच सांगितलें. यामुळें एक चौरस इंच सपाटीवर पाव तोळ्याचा भार असतां जितकें घर्षण होतें, त्याचा १६ पट घर्षण या पक्षांत होईल; आणि हा तुकडा त्याचा सपाटीवर ठेवला असतां, त्यास इतकेंच घर्षण प्राप्त होईल असें पूर्वींच सिद्ध केलें आहे.–

या पुढील कृतीवरून घर्षणाचे नियम दाखवितां येतील. अ सपाटीवर ब लहान गाडी ठेव, (आकृति १४२) आणि त्या गाडीस एक दोरी बांधून ती दोरी सपाटीशीं समांतर प चाकावरून ने; असें केल्यावर दोरीस अति लहान वजन टांगिलें असतां ती गाडी सपाटीवरून चालेल. जर गाडीचा जागीं तिचाच वजनाचा खरबरीत बाजूचा लांकडाचा ठोकळा ठेविला, तर गाडी चालविण्यास जितकें वजन लागलें, त्यापेक्षां अधिक वजन हा तुकडा चालविण्यास लागेल. यावरून या दोन पक्षांत जें वजन लावावें लागतें तें प्रत्येक पदार्थाचा घर्षणाबरोबर आहे. आतां या लांकडाचा तुकड्यावर त्याचे वजनाचा दुसरा पदार्थ ठेवून त्याचें वजन दुप्पट केलें, तर पूर्वीं जें वजन दोरीस बांधिलें होतें तें त्या पदार्थांचें घर्षण नाहींसें करण्यास पुरेसें होणार नाहीं असें दिसेल; परंतु पूर्वींप्रमाणें घर्षणाचा मोड करी असें दुसरें वजन टांगिलें, तर जें सर्व वजन घर्षणाचा मोड करितें तें पूर्वींचा वजनाचा दुप्पट आहे

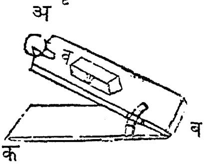
आकृति १४२.



असें दिसेल. यावरून असें दिसतें कीं दुप्पट वजन झालें असतां दुप्पट घर्षण उत्पन्न होतें.

उतरणीचा सहायानें घर्षणाचे नियम चांगल्या रीतीने दाखवितां येतात. **अ ब** उतरणीवर लांकडाचा ठोकळा **व** ठेव, आकृति १४३; यांत **क ब** फळीला **अ ब** फळी मिजागऱ्यानें जडिली आहे, तेणेंकरून ती फळी हवी तितकी उंच करितां येते. तर **अ ब** उतरण हळु हळु उंच कर, जोंपर्यंत तिची उंची अशी होईल कीं त्या उतरणीवरून लांकडाचा तुकड्याची खालीं येण्याची शक्ति घर्षणाचा मोड करी अशी होईल; आणि त्यामुळें तो तुकडा सरकायास लागेल. यावरून उतरणीची **अ ब** लांबी, जशी तिचा **अ क** लंबोंचीस आहे, त्याच प्रमाणानें **व** तुकड्याचा सर्व वजनास त्याचा **अ ब** उतरणीवरून येणारा अंश होईल. जसें, जर **अ ब** लांबी १२ इंच आणि **अ क** लंबोंची ३ इंच आहे, ह्मणजे लांबीचा चतुर्थांश उंची आहे, तर सर्व वजनाचा एक चतुर्थांशाबरोबरीचा शक्तीनें तें वजन खालीं येऊं लागेल; ह्मणजे जर तें वजन १२ तोळे असेल, आणि उतरणीची सपाटी केवळ गुळगुळित असेल, तर तें वजन खालीं न येऊं देण्यासाठीं ३ तोळ्यांची शक्ति उतरणीवरून त्या वजनावर लागू केली पाहिजे. सर्व यांत्रिक साधनांत घर्षण घडतें हें सांगण्याचें प्रयोजन नाहीं, आणि पूर्वीं सांगितल्याप्रमाणें, त्यांचे परिणामाचें गणित करित्ये समयीं पु-

आकृति १४३.



ष्कळ सूट द्यावी लागत्ये, हेंही सुचविण्याचें येथें कारण नाहीं. परंतु कांहीं यंत्रांत एकत्र येऊन घर्षण पावणारे अवयव थोडे असतात यामुळें तशा यंत्रांत घर्षण कमी असतें.

उच्चालकांत घर्षण फारच कमी; कारण शास्त्ररीतीनें तो एका बिंदूवर राहतो, आणि व्यवहारांत त्यास फार थोडें स्थळ लागतें.

कप्पीचा दोर चाकावरून जातो आणि कप्पीचा चाकाचा आंस फिरतो, यामुळें कप्पींतही घर्षण कमी होतें; कप्पीचा आंसाचा फिरण्यापासून घर्षण होतें तें नाहींसें करण्यासाठीं सोईस पडेल तितकी कप्पी मोठी करावी, कारण मोठ्या कप्पींत घर्षणाचा ठिकाणांपासून, ह्मणजे मध्यापासून लांब अंतरावर दोर लागू होतो आणि यामुळें घर्षणाचा मोड करण्याची शक्ति त्याचा आंगीं अधिक येत्ये.—

आंसांसखिळलेल्याचाकाचा आधारावर सर्व यंत्राचा आणि त्याचा योगानें जें वजन उचलावयाचें, त्याचा भार त्यावर पडतो; यामुळें त्या यंत्रांत घर्षण फार उत्पन्न होतें; असें आहे तरीं चांगल्या युक्तींनीं ही अडचण दूर होत्ये.—

उतरणींत घर्षणासाठीं पुष्कळ सूट द्यावी लागत्ये, तेणें-करून त्या यंत्राचा नफ्याविषयीं गणितांत फार फेर पडतो.—

पाचर आणि मळसूत्र यांत घर्षण अतिशय घडतें; यांतील चलन पावणाऱ्या सपाट्या अगदी जवळ जवळ असतात, यामुळें त्यांस संभाळण्यास मोठी सावधगिरी ठेवावी लागत्ये.—

समाप्त.

शब्दपरिभाषा.

आघात— चलनयुक्त पदार्थ दुसऱ्या पदार्थास जो धक्का देतो तो.

कर्ण— चौकोन आकृतींतील समोरासमोरचे दोन कोन बिंदु जोडणारी जी रेघ तीस कर्ण रेघ ह्मणतात.

कोन— दोन रेघा सरळ येऊन ज्या बिंदूंत एकत्र होतात त्या बिंदूस कोन ह्मणतात; भूमितींत कोनास लघुकोन, काटकोन, आणि विशाळकोन, ह्मण-तात. काटकोनांत ९०° अंश असतात, लघुको-नांत ९०° पेक्षां कमी आणि विशाळ कोनांत ९०° पेक्षां अधिक अंश असतात.

गुरुत्वाकर्षण— गुरुत्व पाहा. पृ० २९.

गुरुत्वमध्य— ह्मणून पदार्थांत एक बिंदु असतो, त्या बिंदूने जर तो पदार्थ उचलिला तर त्याचे अवयव त्या बिंदूभोंवतीं परस्परांस तोलून धरितील.

गुरुत्व—पृथ्वीचा मध्याकडे पडण्याचा जो पदार्थांचा कल त्यास गुरुत्व ह्मणतात.

घर्षण—पदार्थांचा सपाट्यांचें एकमेकांवर घांसणें तें. यंत्राचा सामर्थ्याची गणना करित्येसमयीं घर्षणा-बदल सूट द्यावी लागत्ये.

चलण—पदार्थाचा एके स्थानापासून दुसऱ्या स्थानाकडे जाण्याचा जो व्यापार त्यास चलन ह्मणतात.

चलनप्रकरण– ह्मणून एक यंत्रशास्त्राचा भाग आहे, त्यांत पदार्थांचा चलनाचा विचार असतो. पृ० ७८.

जडता– प्रेरणारूप कारणावांचून आपली स्थिर अवस्था अथवा सरळरेषेंत समचलनावस्था न बदलण्याचा जो पदार्थांचा धर्म त्यास जडता ह्मणावें.

टेंकू– ह्मणजे उचालकाचा धीर किंवा आधार आहे.

तराजू– एक उचालकाचा प्रकार आहे. तो, पदार्थ तोलण्यास घेतात. स्टीलयार्ड तराजूचा भेद आहे.

त्रिज्या– वर्तुळाचे मध्यापासून परिघापर्यंत जी रेघ जाते ती.

त्रिकोण– तीन बाजू व तीन कोनांची आकृति.

त्रिकोण प्रिज्मम– एक भरीव आकृति आहे; तिचीं दोनही शेवटें समांतर असतात व तीं त्रिकोणाकृती असतात.

पराबला– जेव्हां वर्तुळशंकू पातळीने बाजूशीं समांतर छेदिला असतो तेव्हां त्या छिन्नाचा आकार पराबला असतो.

परिघ– वर्तुळाची मर्यादरेषा. वर्तुळपरिघाचे ३६० भाग कल्पिले आहेत, त्यांस अंश ह्मणतात.

पदार्थ– आकारविशिष्ट प्रकृतीस पदार्थ ह्मणतात, पदार्थाचा घटक वस्तूस प्रकृति ह्मणतात.

परिणामरूप प्रेरणा– दोन अथवा अधिक प्रेरणांच संयोगानें झालेली जी प्रेरणा ती.

प्रतिबंध– जा कारणानें चलन पावलेल्या पदार्थाचें चलन

कमी होतें, अथवा नाहींसें होतें, अथवा उलटें होतें त्यास प्रतिबंध ह्मणतात. पृ० ६.

प्रेरणा– ज्या कारणानें स्थिर पदार्थाचा आंगीं चलन उत्पन्न होतें, अथवा चलन पावलेल्या पदार्थाचें चलन कमी होतें किंवा फिरतें त्या कारणास प्रेरणा ह्मणावें. पृ० ६.

प्रेरणा पृथक्करण, प्रेरणैकीकरण– दोन किंवा अधिक प्रेरणांपासून झालेल्या एका प्रेरणेचा जागीं त्या प्रेरणांची योजना करितात, त्या कृतीस प्रेरणापृथक्करण ह्मणतात. आणि याचे उलट्ये कृतीस प्रेरणैकीकरण ह्मणतात.

मध्याकर्षप्रेरणा– जी प्रेरणा पदार्थास एका बिंदूभोंवतीं फिरविल्ये ती. पृ० १०.

मध्योत्सारिणीप्रेरणा– जी प्रेरणा मध्याभोंवतीं फिरणाऱ्या पदार्थास मध्यापासून दूर नेल्ये ती.

मोमेंट– एक शक्ति पदार्थास एका बिंदूभोंवतीं ज्या स्थळांतून फिरवित्ये, त्या स्थळास त्या शक्तीनें गुणिलें असतां त्या गुणाकारास बिंदूभोंवतीं त्या शक्तीचा मोमेंट ह्मणतात. पृ० ११४.

लंब– जी रेघ दुसऱ्या रेघेवर पडून जवळ जवळचे कोन बरोबर करित्ये तीस लंब ह्मणतात.

वेग– पदार्थाचे चलनाचे त्वरेचे परिमाणास वेग ह्मणतात.

वेगाघात– ज्या शक्तीनें चलनयुक्त पदार्थ दुसऱ्या पदार्थावर आपटतो तीस वेगाघात ह्मणतात; पदार्थाचें

प्रकृतिपरिमाण आणि वेग यांचा गुणाकाराबरोबर तो असतो. पृ० ७.

व्यास — जी रेघ वर्तुळमध्यांतून जाऊन तिचीं दोन्हीं टोंकें परिघाशीं मिळतात, त्या रेघेस व्यास म्हणतात.

शंकु — एक सरीख आकृति आहे तिचा पाया वर्तुळ आहे, आणि शिर एक बिंदु असतो. उदाहरण न्हाव्याची टुंकणी.

शक्ति — जी प्रेरणा यंत्रावर लाविल्यानें त्यास चलन देत्ये ती.

समांतर रेघा — ज्या दोन रेघा सपाटीवर सारिख्या अंतरानें एकमेकांपासून असतात, त्यांस समांतर रेघा म्हणतात.

समांतरबाजूचौकोन — म्हणजे चार सरळ रेघांची आकृति, जींत समोरासमोरच्या बाजू अथवा रेघा समांतर असतात.

स्थिरताप्रकरण — पदार्थावर प्रेरणा घडल्या असतां त्यांच्या योगानें तो स्थिर राहतो, अशा प्रेरणांचा ज्या भागांत विचार असतो, असा यंत्रशास्त्राचा एक भाग आहे. पृ० ७८.

क्षितिमर्यादा — पृथ्वीची वर्तुळाकार मर्यादा दिसत्ये ती. स्थिर पाण्याची सपाटी क्षितिमर्याद असत्ये.
